

Fluoridakkumulation im Zahnschmelz beeinflussende Faktoren

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae dentariae
(Dr. med. dent.)

vorgelegt dem Rat
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Nadin Kiel
geboren am 05.02.1975 in Erfurt

Gutachter

1: Prof. Stößer

2: Prof. Glockmann

3: Prof. Schaller

Tag der öffentlichen Verteidigung: 06.06.2006

Inhaltsverzeichnis

Seite

Abkürzungsverzeichnis

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | Zusammenfassung | |
| 2 | Einleitung | 6 |
| 2.1 | Kariesprotektive Wirkung der Fluoride | 6 |
| 2.2 | Applikationsformen der Fluoride | 7 |
| 2.3 | Fluoridverbindungen | 7 |
| 2.3.1 | Natriumfluorid (NaF) | 8 |
| 2.3.2 | Aminfluorid (AmF) | 8 |
| 2.3.3 | Natrium-Monofluorophosphat (NaMFP) | 11 |
| 2.3.4 | Zinnfluorid (SnF ₂) | 11 |
| 2.4 | Lokale Wirkungsmechanismen der Fluoride | 12 |
| 2.4.1 | Chemische Eigenschaften des Schmelzes | 12 |
| 2.4.2 | Die Förderung der Remineralisation durch Fluorid | 13 |
| 2.4.3 | Die Hemmung der Demineralisation durch Fluorid | 14 |
| 2.4.4 | Fluoridwirkung auf bakterielle Plaque | 15 |
| 2.5 | Der Kariesrückgang | 16 |
| 2.5.1 | Wirksamkeit der Fluoride | 17 |
| 3 | Zielstellung | 18 |
| 4 | Material und Methode | 19 |
| 4.1 | Herkunft und Art des Untersuchungsmaterials | 19 |
| 4.1.1 | Die Rindermilchzähne | 19 |
| 4.1.2 | Die verwendeten Fluoridlösungen | 19 |
| 4.1.2.1 | Die Aminfluoridlösungen | 20 |
| 4.1.2.2 | Die Natriumfluoridlösungen | 21 |
| 4.2. | Versuchsablauf | 22 |
| 4.2.1 | Design der Gesamtstudie | 22 |
| 4.2.1.1 | pH-Wert-Einfluss auf die Fluorideinlagerung im Zahnschmelz aus Natriumfluorid und Olaflur _{Rind} | 22 |
| 4.2.1.2 | Einfluss des Ionenhintergrundes auf die Fluorideinlagerung im Zahnschmelz aus Natriumfluorid und Olaflur _{Rind} | 22 |
| 4.2.1.3 | Fluoridanreicherung im Zahnschmelz durch unterschiedliche Aminfluoridverbindungen | 23 |
| 4.2.1.4 | Reproduzierbarkeit der Fluoridakkumulation im Schmelz ausgewählter Fluoridverbindungen | 24 |
| 4.2.2 | Auswahl der Biopsieareale | 24 |
| 4.2.3 | Methode der Schmelzbiopsie | 25 |
| 4.2.4 | Exposition des Zahnmaterials in den Testlösungen | 26 |
| 4.2.5 | Methode der Kalziumbestimmung | 26 |
| 4.2.6 | Methode der Fluoridbestimmung | 28 |
| 4.3 | Vorversuche | 30 |
| 4.3.1 | Einfluss des Basisfluoridgehaltes auf die Fluoridanreicherung | 30 |
| 4.3.2 | Einfluss des Fluoridgehaltes auf die Schmelzlöslichkeit | 31 |
| 4.3.3 | Lösungskinetik des Zahnschmelzes zwischen 5 und 15 Sekunden in 3 µl 1 M Perchlorsäure | 31 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 4.4 | Statistische Auswertung | 31 |
| 5 | Ergebnisse | 33 |
| 5.1 | Ergebnisse der Vorversuche | 33 |
| 5.1.1 | Einfluss des Basisfluoridgehaltes auf die Fluoridanreicherung | 33 |
| 5.1.2 | Einfluss des Fluoridgehaltes auf die Biopsietiefe | 34 |
| 5.1.3 | Lösungskinetik des Zahnschmelzes zwischen 5 und 15 Sekunden in 3 µl 1 M Perchlorsäure | 35 |
| 5.2 | Ergebnisse der In-vitro-Untersuchungen | 36 |
| 5.2.1 | Fluorideinlagerung im Zahnschmelz aus Natriumfluoridlösungen mit unterschiedlichen pH-Werten und Olaflur _{Rind} | 36 |
| 5.2.2 | Fluoridanreicherung im Schmelz aus NaF und Olaflur _{Rind} bei gleichem Ionenhintergrund | 38 |
| 5.2.3 | Fluoridanreicherung aus unterschiedlichen Aminfluoridverbindungen | 40 |
| 5.2.3.1 | Reproduzierbarkeit der Fluoridanreicherung ausgewählter Fluoridverbindungen | 42 |
| 6 | Diskussion | 45 |
| 7 | Schlussfolgerung | 57 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 58 |
| 9 | Anhang | 71 |
| 10 | Anlagen | 108 |
| | Danksagung | |
| | Ehrenwörtliche Erklärung | |
| | Lebenslauf | |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------------------------------|---|
| AAS | Atomabsorptionsspektrophometer |
| Abb. | Abbildung |
| AmF | Aminfluorid |
| Aqua dest. | Aqua destillata |
| BSE | Bovine Spongiforme Enzephalopathie („Rinderwahnsinn“) |
| Ca | Kalzium |
| Ca ²⁺ | Kalziumion |
| CaF ₂ | Kalziumfluorid |
| C-Atom | Kohlenstoffatom |
| DMFS | zahnflächenbezogener Karies-Index |
| DMFT | zahnbezogener Karies-Index |
| F ⁻ | Fluoridion |
| FAP | Fluorapatit |
| FHAP | Fluorhydroxylapatit |
| GABA | International, Schweiz |
| Gew.-% | Gewichtsprozent(e) |
| H ⁺ | Wasserstoffion |
| HAP | Hydroxylapatit |
| HClO ₄ | Perchlorsäure |
| H ₃ PO ₄ | Phosphorsäure |
| Kap. | Kapitel |
| KOH | Kaliumhydroxid, Kalilauge |
| M | Molmasse |
| MFP | Monofluorphosphat |
| NaMFP | Natrium-Monofluorphosphat |
| min | Minute(n) |
| Mg | Magnesium |
| µm | Mikrometer |
| µl | Mikroliter |
| n | Anzahl |
| Na ₂ -EDTA | Dinatriumdihydrogenethylendinatriumtetraacetat-2hydrat |
| NaF | Natriumfluorid |
| OH ⁻ | Hydroxydion |
| P | Phosphor |
| pH | pH-Wert, negativer dekadischer Logarithmus der H ⁺ -Ionenkonzentration |
| PO ₄ ³⁻ | Phosphation |
| ppm | parts per million |
| sek | Sekunde(n) |
| SnF ₂ | Zinnfluorid |
| Tab. | Tabelle(n) |
| TISAB | Total Ionic Strength Adjusting Buffer |
| TWF | Trinkwasserfluoridierung |

1 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war es, den Einfluss des pH-Wertes auf die Fluoridakkumulation in Zahnschmelz aus anorganischen Fluoridlösungen im Vergleich zu einer sauren Aminfluoridlösung, für die in diesem Zusammenhang auch der Einfluss der aliphatischen Kettenlänge der organischen Komponente untersucht wurde, zu beurteilen.

Für die Untersuchungen wurden 187 kariesfreie untere Milchzähne vom Rind verwendet und deren Ausgangsfluoridgehalt in mindestens 2 Biopsietiefen ermittelt.

Die Säurebiopsie erfolgte mit 1 M Perchlorsäure (10 sek), an die sich eine zweimalige Spülung des Ätzareals mit 1 M Natriumazetatpuffer anschloss. Der Fluoridgehalt des Biopates wurde mit einer fluoridsensitiven Elektrode und der Kalziumgehalt am Atomabsorptionsspektrophotometer ermittelt. Die Fluoridkonzentration im Zahnschmelz wurde in ppm F⁻ ausgedrückt und die Fluoridanreicherung aus der Differenz zwischen Ausgangswert und Endwert für die Äztiefen berechnet.

Der Einfluss des pH-Wertes wurde mit vier 1500 ppm F⁻-haltigen Natriumfluoridlösungen mit den pH-Werten 3,0, 4,0, 5,0 und 7,0 im Vergleich zur Aminfluoridlösung Olaflur (pH=4,3) untersucht. Mit zunehmender Azidität der Lösungen nahm auch die Fluoridanreicherung im Schmelz zu. Die Aminfluoridlösung übertraf im Fluoridierungseffekt die NaF-Lösung mit pH 4,0. Trotz Anpassung des Ionenhintergrundes der NaF-Lösung blieb die hohe Wirksamkeit der AmF-Lösung erhalten.

Bei Vergleich von sechs AmF-Verbindungen mit unterschiedlicher aliphatischer Kettenlänge oder Herkunft der organischen Komponente bewirkte eine Verlängerung der aliphatischen Kette der Fettsäure eine Verstärkung des Fluoridierungseffektes. Aminfluoride unterschiedlicher natürlicher Herkunft (pflanzlich, tierisch) hatten statistisch die gleiche Wirksamkeit hinsichtlich der Fluorideinlagerung.

Die vorgelegten Ergebnisse zeigen die Parallelität zur Säurekonzentration und Fluorideinlagerung ins Zahnhartgewebe. Unabhängig davon erwies sich Aminfluorid gegenüber der anorganischen Fluoridverbindung überlegen. Für die organischen Aminfluoride kann mit steigender aliphatischer Kettenlänge der Fettsäure eine Zunahme der Fluoridierung festgestellt werden, deren Umsetzung in Präventionspräparate empfehlenswert erscheint, da deren kariesprophylaktische Wirksamkeit möglicherweise größer ist.

2 Einleitung

2.1 Kariesprotektive Wirkung der Fluoride

Die kariesprotektive Wirkung der Fluoride ist seit mehr als 100 Jahren bekannt, jedoch bis heute noch nicht in allen Einzelheiten erforscht. Die Fluoridwirkung ist auf das Zusammenwirken verschiedener Mechanismen im Grenzbereich zwischen Zahnschmelz, Plaque und Mundflüssigkeit zurückzuführen (Arends et al. 1987, Stöber et al. 2005). War man bis Mitte der 80er Jahre der Meinung, dass die lokale, kariesprophylaktische Wirkung des Fluorids vor allem auf seinem festen Einbau in die Kristallstruktur des Schmelzes beruht (McKay 1952, Backer-Dircks 1966, Fejerskov et al. 1981), so hat sich diese Meinung im Lauf der letzten Jahre geändert (Ten Cate 1990, Larsen 1990). Wesentlich ist die ununterbrochene Anwesenheit eines labilen Fluoridreservoirs in der Mundhöhle bzw. in der Umgebung des Schmelzes (Øgaard et al. 1988, 1991), das nach Anwendung leicht löslicher Fluoridverbindungen als Kalziumfluoriddeckschicht auf der Zahnoberfläche entsteht (Zimmer 1996). Fluoride können je nach Art ihrer Zuführung und abhängig vom Entwicklungsstadium der Zähne intern oder lokal wirken, weshalb ein Einfluss sowohl während der Zahnentwicklung als auch nach dem Zahndurchbruch beschrieben wird (Gülzow 1995, Schiffner 2001, Hellwig und Lennon 2004). Die kariesprotektive Wirkung der Fluoride besteht aus heutiger Sicht in folgenden Mechanismen (Fischer et al. 1995, Schiffner 2001):

1. Förderung der Remineralisation (Backer-Dircks 1966, Silverstone 1977, Arends und Christoffersen 1986, Ten Cate 2004)
2. Hemmung der Demineralisation (Arends et al. 1983, Margolis et al. 1986, Ten Cate 1995)
3. Einbau des Fluorids in das Kristallgitter des Hydroxylapatits des Schmelzes (Mühlemann 1967, Gülzow 1995)
4. Bildung einer Kalziumfluoriddeckschicht auf der Schmelzoberfläche (Øgaard 1990, White und Nancollas 1990)
5. Hemmung des mikrobiellen Kohlenhydratstoffwechsels
 - 5.1 Hemmung der Säurebildung (Hamilton 1990, Marsh 1995)
 - 5.2 Einschränkung der Polysaccharidsynthese (Bramstedt und Bandilla 1966, Saxton und Critchley 1972, Marsh 1995)
6. Beeinflussung der Schmelzoberfläche
 - 6.1 Desorption von Protein und/oder Bakterien (Marsh 1995)

- 6.2 Herabsetzung freier Oberflächenenergie des Schmelzes (Ericson und Ericsson 1967, Rølla und Melsen 1975)

2.2 Applikationsformen der Fluoride

Es ist prinzipiell zwischen lokaler (externer) und systemischer (interner) Fluoridapplikation zu unterscheiden. Die systemische Fluoridgabe zeigt sowohl eine präeruptive als auch posteruptive Wirkung über einen lokalen Effekt (Schiffner 2001). Nach heutiger Auffassung existiert kein präeruptiver kariesprophylaktischer Effekt der Fluoride (Reich et al. 1992, Leverett et al. 1997, Hellwig und Lennon 2004). Die Fluoride werden unabhängig von der Darreichungsform in erster Linie lokal, d. h. posteruptiv an der Zahnoberfläche wirksam (Thylstrup 1990, Fejerskov und Clarkson 1996, Featherstone 1999, Clarkson und McLoughlin 2000). Die Fluoridanreicherung des Schmelzes ist unabhängig von Einlagerungszeitpunkt und –art der Fluoridzuführung immer reversibel. Rølla et al. (1991) und viele andere (Torell und Ericsson 1965, 1967, Pilz 1985, Newbrun 2001, Maia et al. 2003) konnten zeigen, dass hauptsächlich die kontinuierliche posteruptive lokale Zuführung niedriger Fluoridkonzentrationen und hier vor allem die Verwendung von fluoridhaltigen Zahnpasten (Arends und Christoffersen 1990, Hicks et al. 2004) für die kariostatische Wirkung von Bedeutung sind.

2.3 Fluoridverbindungen

Fluoridverbindungen zur lokalen Applikation werden in unterschiedlicher Form und Konzentration angeboten, z.B. in Zahnpasten (0,05 % - 0,15 % Fluorid), Mundspüllösungen (0,05 % - 0,5 % Fluorid), Lösungen zur Touchierung (1 % Fluorid), Gelees (1,25 % Fluorid) oder Lacken (2,3 % Fluorid). Dabei müssen die Fluoridverbindungen wasserlöslich sein, um das wirksame Fluoridion freisetzen zu können. Fluoridlösungen mit niedrigem pH-Wert produzieren dabei große Mengen an Kalziumfluorid (CaF_2) und besitzen daher besonders günstige klinische Eigenschaften (Øgaard 1990). Grundsätzlich wird zwischen den zwei großen Gruppen der anorganischen und organischen Fluoride unterschieden. Die anorganischen Fluoridverbindungen Natriumfluorid, Natrium-Monofluorophosphat und Zinnfluorid sind derzeit als kariesprotektive Wirksubstanzen in den Präparaten enthalten. Als organische Fluoride kommen Aminfluoride und Fluorsilane zur Anwendung.

2.3.1 Natriumfluorid (NaF)

Natriumfluorid ist die älteste in einer handelsüblichen Zahnpasta verwendete Fluoridverbindung. Die erste diesbezügliche Veröffentlichung stammt von Bibby aus dem Jahre 1945. Es handelt sich um eine anorganische Fluoridverbindung, bei der das Fluorid ionisch gebunden ist. Das Natriumion verhält sich im Reaktionsverlauf neutral und besitzt keine eigenständigen kariesprotektiven Eigenschaften.

2.3.2 Aminfluorid (AmF)

Aminfluoride wurden 1957 durch Mühlemann und sein Forschungsteam entwickelt und befinden sich seit 1963 u. a. als Zahnpastenzusatz auf dem Markt. Es handelt sich hierbei um organische Fluoridverbindungen, die aus Addukten von langkettigen Mono- oder Polyaminen und Fluorwasserstoff bestehen (Wagner und Weinert 1981). Das bekannteste Aminfluorid stellt die Verbindung Nr. 297 dar, die die internationale Bezeichnung „Olaflur“ trägt und deren organische Komponente auf einem Fettsäuregemisch aus Rindertalg basiert. Aminfluoride lassen aufgrund ausgeprägter Adhäsionsphänomene an Zahnoberflächen (Schmid 1983, Gülzow und Köhler 1998, Gintner et al. 2000) eine bessere kariesprophylaktische Wirkung vermuten. Mühlemann (1983) und Schmid (1983) stellten fest, dass die gute Oberflächenhaftung der Aminfluoride auf den kationischen Aminanteil zurückzuführen ist. Untersuchungen von Duschner und Uchtmann (1985) ergaben, dass sich eine Doppelschicht aus Amin-Kationen am Schmelz bildet, die durch Ionwechselwirkungen Fluoridionen anlagert, was eine erhöhte Einbaurate von Fluorid und die Bildung eines Kalziumfluoridreservoirs begünstigt (Schmid 1983). Da sie einen leicht sauren pH-Wert aufweisen, wird die Bildung einer besonders langlebigen CaF_2 -Deckschicht auf der Zahnoberfläche gefördert. So bildet sich bei hoher lokaler Fluoridgebe ein Fluoriddepot am Zahnschmelz (Rølla et al. 1991), welches bei Fluoridmangel Fluoridionen abgeben kann.

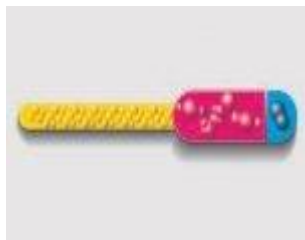


Abb. 1: AmF-Verbindung Olaflur mit hydrophilem „Kopf“ und hydrophoben „Schwanz“

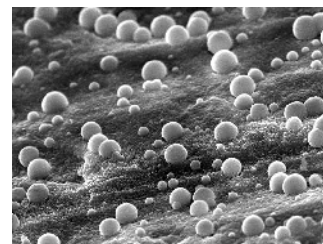


Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopische Darstellung der CaF_2 -Deckschicht auf Zahnschmelz (Petzold, Halle)

Zudem führt der tensidartige Charakter zu einer Änderung der physikalischen Eigenschaften der Schmelzoberfläche, was die Anhaftung von Plaquebakterien erschwert (Borutta 1992, Hannig 1994). Auch die Konkurrenz mit Bakterien um die Pellikelbindungsstellen behindert die bakterielle Kolonisation der Zahnoberflächen (Gehring 1983, Renggli 1983, Bánóczy und Nemes 1991). Die oben genannten Mechanismen führen zu einer im Vergleich zu NaF länger anhaltenden Herabsetzung der Schmelzlöslichkeit (Gülzow und Lang 1967). Zudem konnte bei den Aminfluoriden im Gegensatz zu NaF eine direkte bakterizide Wirkung festgestellt werden (Gehring 1983).

2.3.3 Natrium-Monofluorophosphat (NaMFP)

Auch Natriummonofluorophosphat hat sich in Zahnpasten bewährt. Seine kariesprophylaktische Wirkung ist seit 1950 bekannt (Ingram 1972, 1977, Wagner und Weinert 1981). Im Unterschied zu den anderen Fluoridverbindungen liegt hier kein ionisiertes Fluor vor, sondern über Phosphationen kovalent gebundene Fluoratome. In zahlreichen klinischen Tests konnte die Wirksamkeit mit einer Kariesreduktion von durchschnittlich 20-25% bestätigt werden (Wagner und Weinert 1981, Bößmann 1985). Das kovalent gebundene MFP wird nur langsam gespalten. So gehen Grøn und Caslavská (1981) und einige andere Autoren (Klimek 1986, Hellwig et al. 1987, 1990) davon aus, dass keine Kalziumfluoriddeckschicht gebildet wird. Duff (1983) nahm an, dass nach lokaler Applikation von Natriummonofluorophosphat das Monofluorophosphatmolekül in den Schmelz diffundiert und dort gegen HPO_4^{2-} ausgetauscht wird. Monofluorophosphat kann jedoch auch in der Plaque und im Speichel enzymatisch oder sauer hydrolysiert werden, und die dabei freiwerdenden Fluoridionen reagieren mit dem Zahnschmelz wie ionisch gebundene Fluoride (Hellwig und Klimek 1984).

2.3.4 Zinnfluorid (SnF_2)

Beim Zinnfluorid ist das Fluorid ionisch an das Zinn gebunden und kann daher in wässriger Lösung vollständig dissoziieren. Neben dem Fluoridion hat auch das Zinnion einen antibakteriellen Effekt. Es kann Thiolgruppen oxidieren und damit im Bakterium bestimmte Enzyme inhibieren, die für den Transport und den Abbau der Glukose verantwortlich sind (Rølla 1986). Der Nachteil dieser Verbindung besteht vor allem darin, dass sich Zinnfluoridphosphat-Präzipitate bilden, die zu schwarzen Zahnverfärbungen führen können (Featherstone und Ten Cate 1988). Vor einiger Zeit

gelang es Zinnfluorid durch Kombination mit Aminfluorid in einer Zahnpaste bzw. Lösung zu stabilisieren.

2.4 Lokale Wirkungsmechanismen der Fluoride

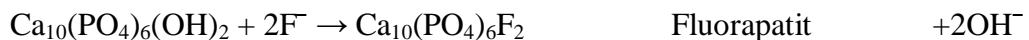
2.4.1 Chemische Eigenschaften des Schmelzes

Der Zahnschmelz besteht zu 95 Gew.-% aus anorganischen Bestandteilen und zu 5 Gew.-% aus Wasser und organischer Matrix bzw. Proteinen (Schroeder 1992). Den Hauptanteil der anorganischen und kristallinen Phase des Zahnschmelzes bilden die Kalziumphosphate, die in verschiedenen Formen vorliegen können (Driessens 1982). Röntgendiffraktionsanalysen konnten zeigen, dass das Schmelzmineral im allgemeinen als Hydroxylapatit (HAP) vorliegt, daneben kommen im Schmelz auch Vorstufen des Hydroxylapatits wie Dikalziumphosphatdihydrat (Brushit) oder Oktakalziumphosphat vor. Stöchiometrisch reiner Hydroxylapatit hat die Formel $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$.



Sehr häufig kommt es zu Abweichungen von dieser Idealformel. Fluoridionen können anstelle der OH-Gruppen isomorph ins Kristallgitter eingebaut werden und bewirken eine Stabilisierung der Apatitsstruktur (Fischer et al. 1995, Robinson et al 2004).

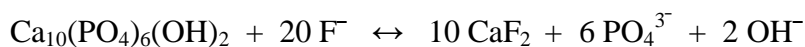
Dabei entsteht Fluorapatit (FAP) oder Fluorhydroxylapatit (FHAP), je nachdem ob die OH-Gruppen vollständig oder, wie häufiger der Fall, nur teilweise durch Fluorid ersetzt werden.



Im gesunden menschlichen Schmelz ist neben HAP auch FHAP vorhanden, reiner FAP kommt dagegen praktisch nicht vor. Untersuchungen konnten zeigen, dass in der äußersten humanen Schmelzschicht durchschnittlich weniger als 10% der OH-Gruppen durch Fluorid ersetzt sind (Driessens 1982). Bereits in einer Tiefe von 50 µm sinkt dieser Anteil auf unter 1%. Die eigentliche Reaktion zwischen Fluoriden und gesundem Schmelz bleibt trotz hoher, konzentrierter Fluoridlösungen auf den Bereich der äußeren 1–3 µm dicken Schicht beschränkt (Ahrens et al. 1983, Duschner et al. 1984).

2.4.2 Die Förderung der Remineralisation durch Fluorid

Die verschiedenen Kalziumphosphat-Phasen, die nebeneinander im Schmelzmineral vorliegen, unterscheiden sich in Bezug auf Stabilität, Löslichkeit und Remineralisationseigenschaften. Ten Cate (1979) berechnete Löslichkeits-Isothermen für die wichtigsten Kalziumphosphat-Phasen des Schmelzes. Bereits bei dem „kritischen pH-Wert“ von 5,5 geht reiner HAP in Lösung. Bei FAP beginnt die Auflösung erst bei einem pH-Wert von 4,6, was bedeutet, dass FAP bei der Remineralisation zuerst wieder gebildet wird. Mellberg et al. (1983) konnten nachweisen, dass eine Remineralisation zu keiner originalgetreuen Rekonstruktion der Prismen- bzw. Kristallstruktur des Schmelzes führt. Ein primär demineralisierter und anschließend remineralisierter Zahnschmelz ist dadurch säureresistenter als unversehrter Zahnschmelz (Silverstone 1977, Koulourides und Cameron 1980). Durch Demineralisationsvorgänge wird das bereits eingelagerte Fluorid wieder freigesetzt und wirkt als beschleunigender Faktor bei der Mineraleinlagerung. Im Stadium der Remineralisation sind der Zutritt von Speichel (Pigman et al. 1966), der die remineralisierenden Ionen Ca^{2+} , PO_4^{3-} und OH^- enthält, und das Vorhandensein von gelöstem F^- an der Schmelzoberfläche besonders wichtig. Eine weitere Fluoridquelle stellen die Kalziumfluoriddeckschichten auf der Schmelzoberfläche dar. Bereits die Lokalapplikation von Fluoriddosen über 10 ppm Fluorid führt zur oberflächlichen Auflösung des Hydroxylapatits (Ten Cate 2003) und Bildung von Kalziumfluorid (Mühlemann 1967).



Manche Autoren sprechen auch von CaF_2 -artigen Material, da es sich nicht um reines CaF_2 handelt, sondern auch Phosphate, Proteine und andere Bestandteile enthalten sind (Christoffersen et al. 1988).

Die Stabilität von CaF_2 in der Mundhöhle ist weitaus größer als früher angenommen wurde (Fischer et al. 1995). Das CaF_2 fungiert als pH-gesteuertes F^- -Reservoir, welches beim kariösen Säureangriff bzw. bei niedrigem pH-Wert F^- freisetzt und im neutralen pH-Bereich auf der Schmelzoberfläche stabil bleibt (Øgaard 1990, Petzold et al. 2004). Die freigesetzten Fluoridionen reichern sich in der Plaque an oder akkumulieren sich im demineralisierten Schmelz (Hellwig et al. 1995). Sie hemmen einerseits die Demineralisation und wirken sich andererseits fördernd auf die Remineralisation, durch Bildung neuer oder das Wachstum partiell entmineralisierter FAP- und FHAP-Kristalle aus Ca^{2+} , PO_4^{3-} und OH^- -Ionen des Speichels bei neutralem pH-Wert aus. Diese

Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Ionenaktivität der freien F^- -Ionen während des kariösen Angriffs von weitaus größerer Bedeutung ist, als ein hoher F^- -Gehalt im Schmelzkristall (Fejerskov et al. 1981). Als effektive Maßnahmen zur Steigerung der CaF_2 -Ablagerung haben sich ein erniedrigter pH-Wert, erhöhte F^- -Konzentrationen und verlängerte Einwirkungszeiten erwiesen (Saxegaard und Rølla 1988a, b).

2.4.3 Die Hemmung der Demineralisation durch Fluorid

Anhand von zahlreichen Untersuchungen konnte umfassend dokumentiert werden, dass der Einbau von Fluoriden in die mineralischen Anteile des Schmelzes die Löslichkeit in geringem Ausmaß reduziert (Arends und Gelhard 1983, Arends und Christoffersen 1986, Øgaard 1990). Voraussetzung für die Hemmung der Demineralisation und die fortlaufende Remineralisation der Schmelzoberfläche unter kariösen Entkalkungsbedingungen ist die Verfügbarkeit von freien F^- -Ionen (Buchalla et al. 2002), wobei sehr geringe F^- -Konzentrationen in der Lösung ab rund 0,2 ppm F^- ausreichend sind (Ten Cate und Duijsters 1983, Borsboom et al. 1985). Attin et al. (1992) stellten nach einer niedrigdosierten (0,2 ppm F^-) Fluoriddauerapplikation auf initiale Kariesläsionen eine weitere Progression unter anhaltenden kariogenen Bedingungen fest. Auch Schiffner und Gülzow (1999) konnten zeigen, dass weder strukturell gebundenes noch labiles Fluorid unter stark kariesfördernden Bedingungen eine Hemmung der Demineralisation bewirkte. Unter In-vivo-Bedingungen reichert sich Fluorid in der Plaque an, so dass auf der Schmelzoberfläche höhere F^- -Konzentrationen vorliegen als in der Mundflüssigkeit (Arends und Christoffersen 1990).

Øgaard et al. (1988) zeigten eindrucklich, dass geringe Mengen von gelösten Fluoriden ein weitaus größeres kariesprotektives Potential haben als ein hoher FAP-Anteil im Schmelzmineral. Menschlicher Zahnschmelz (1000 ppm F^-) und Zahnschmelz vom Haifisch, der aus reinem FAP besteht (32000 ppm F^-) zeigten bei einem In-vivo-Experiment in der menschlichen Mundhöhle ähnliche kariöse Läsionen. Dagegen war der Mineralverlust des menschlichen Schmelzes sogar geringer, wenn die Probanden täglich mit einer 0,2%igen NaF-Lösung spülten. Die Hemmung der Demineralisation wird wie folgt erklärt (Arends und Christoffersen 1990, Hellwig et al. 1995): Durch die Lokalapplikation von geringen Fluoriddosen oder durch Auflösung der Kalziumfluoriddeckschicht diffundieren Fluorid-Ionen in den Oberflächenschmelz. Sie reichern sich in der Flüssigkeit zwischen den Schmelzkristallen an und werden an der Kristalloberfläche adsorbiert. Dadurch erhält der fluoridumhüllte Hydroxylapatit

hydroxylfluorapatitähnliche Eigenschaften (Hellwig et al. 1995). Ist die Kristalloberfläche vollständig mit adsorbierten Fluoridionen bedeckt, wird die Demineralisation maximal gehemmt. Unbedeckte Areale werden durch den Säureangriff aufgelöst (Fischer et al. 1995).

2.4.4 Fluoridwirkung auf bakterielle Plaque

Dentale Plaque ist in der Lage, Fluorid in einer 50 – 100 mal höheren Konzentration als sie das umgebende Medium aufweist, zu speichern (Jenkins und Edgar 1977, Afflitto et al. 1992). Als Quellen dienen nach Zero et al. (1992) und Petersson et al. (2002) der Speichel und die Gingivalfluid, es kann nach Klimek et al. (1982) auch der Zahnschmelz sein. Auch durch direkten Kontakt der Plaque mit Fluorid in Spüllösungen und Zahnpasten kommt es zu einer Anreicherung.

Ten Cate und Duijsters (1983) werteten die Speicherfähigkeit der Plaque als günstig, da die bei oraler Fluoridzufuhr erzielten hohen Fluoridkonzentrationen in der Plaque über einen verlängerten Zeitraum der Schmelzremineralisation zur Verfügung stehen. Zusätzlich begünstigend wirkt sich nach Ten Cate (1997) der im Vergleich zum Speichel niedrige pH-Wert in der Plaque auf die Fluoridablagerung im Zahnschmelz aus. Bei Verbleiben von Plaque für einen längeren Zeitraum stellten aber Mathiesen, Øgaard und Rølla (1996) keinen kariesprotektiven Effekt von Fluorid mehr fest.

Die Fluoridkonzentration variiert zwischen 8 und 130 ppm (Hardwick 1971). Bei einem Fluoridgehalt der Plaque von nur 50 ppm könnten nach Mühlemann (1982) die Plaqueglykolyse über einen antienzymatischen Fluorideffekt und damit der pH-Abfall in der Plaque gebremst werden. Bei niedrigem pH-Wert liegt das Fluoridion als Fluorwasserstoff vor und kann nach Diffusion in die Bakterienzelle dort zu einer starken intrazellulären pH-Absenkung führen. Die antiglykolytische Wirkung des Fluorids vollzieht sich über das Glycolyseenzym Enolase, dessen pH-Optimum im neutralen Bereich liegt, durch eine unspezifische Hemmung der Stoffwechselleistungen der Streptokokkenzelle (Mühlemann 1982, Bößmann 1988).

Die Verweildauer in der Plaque ist abhängig von der Art der Fluoridverbindung. So sind Aminfluoride bis zu 4 Stunden in den Belägen nachweisbar, während die gespeicherte Fluoridmenge einer äquivalenten NaF-Lösung bereits nach einer Stunde eliminiert ist (Flessa und Gülzow 1970).

Sowohl Fluorid, als auch die kationischen Komponenten von Fluoridverbindungen (Amin) entfalten grenzflächenaktive Wirkungen, wodurch die Plaquebildung ebenso

beeinträchtigt wird (Klimm 1983), wie durch direkte antimikrobielle Wirkung. Klimm (1982) stellte eine wesentlich geringere minimale Hemmkonzentration bei Aminfluorid als bei Natriumfluorid fest. Nach Gehring (1983) wirkte Natriumfluorid auch in hohen F^- -Konzentrationen nur bakteriostatisch, Aminfluorid in relativ niedriger Dosis dagegen bakterizid.

Bedeutenden Einfluss im komplexen Wirkungssystem der Fluoride an der Grenzschicht Schmelz-Plaquespeichel besitzt das Pellikel. Als semipermeable Membran reduziert es die Diffusionsrate von Kalzium- und Phosphationen sowie die Milchsäure, aber nicht von löslichen Fluoriden (Klimek 1986).

2.5 Der Kariesrückgang

Seit Anfang der achtziger Jahre wurde in fast allen Industrienationen ein Rückgang der Kariesprävalenz in der jugendlichen Population festgestellt (Glass 1982, Marthaler et al. 1990, 1996). Spätestens auf der ORCA-Konferenz 1989 in York (Marthaler 1990) wurde allgemein anerkannt, dass diese Rückläufigkeit des Kariesbefalls trotz unverändert hohen Zuckerkonsums erreicht wurde. Der Hauptgrund für den „Caries decline“ ist nach Angaben zahlreicher Autoren (Marthaler 1990a, König 1993, 2001, Koch 2003) primär die regelmäßige Anwendung fluoridhaltiger Zahnpasten. Diese Form der Selbstapplikation sichert ein lebenslanges, kontinuierliches F^- -Angebot als Voraussetzung für die Aufrechterhaltung des Mindestniveaus von 0,2 ppm F^- in der Zahnumgebung für ablaufende Remineralisierungsprozesse (Ten Cate und Duijsters 1983). Aber auch der hohe Grad der individuellen zahnärztlichen Kurativ- und Präventivbetreuung und verändertes orales Gesundheits- und Ernährungsverhalten sind ein sekundär wirksamer Faktor für den Kariesrückgang (Künzel 1998, Marthaler 1998), sowie Präventionsprogramme mit lokaler Fluoridverabreichung in der Gruppenprophylaxe.

Bei epidemiologischer Betrachtung der Karies stellt man fest, dass es zunehmend mehr kariesfreie und Kinder mit geringen DMFS-Werten gibt (Gülzow und Farshi 2000, Reich 2001). Gleichzeitig existiert eine Gruppe (20-25 %), die ca. 60-80 % aller kariösen Läsionen einer Altersgruppe auf sich vereint (IDZ 1999). Dies wurde als Polarisierung der Karies bezeichnet (Künzel 1997, Stöber et al. 1998).

2.5.1 Wirksamkeit der Fluoride

Bei der zur Zeit erreichten niedrigen Kariesinzidenz lässt sich die karieshemmende Fluoridwirkung der lokal verabreichten Fluoride (Zahnpasten, Spüllösungen, Gelees) nur noch schwer feststellen (Marthaler 1998, Koch 2003). Die aussagekräftigste Prüfung der karieshemmenden Wirksamkeit eines Präparates ist die Durchführung einer klinischen Studie. Den klinischen Effekt einer Fluoridanwendung zu verifizieren und quantifizieren, ist jedoch nur mit sehr großem Zeitaufwand möglich und kann durch zahlreiche Variablen beeinflusst werden (Gabriel et al. 1985, Stookey et al. 1993). Auch der direkte Vergleich klinischer Studien ist aufgrund fehlender standardisierter Bedingungen, Untersuchungsmethoden und schlechter Kontrollierbarkeit der Studien schwierig (Einwag et al. 1993). Aus diesem Grund werden für die Beurteilung der Effektivität und des Wirkungsmechanismus von Fluoridpräparaten sowohl In-vitro-Tests, als auch In-vivo-Tests durchgeführt. Diese Prüfverfahren haben sich bei der Entwicklung neuer Kariespräventiva oder Fluoridanwendungsverfahren bzw. zur vergleichenden Beurteilung von Fluoridpräparaten bewährt. Dabei wird bei den In-vitro-Tests vor allem die Anreicherung von Fluorid in den Zahnhartsubstanzen untersucht (Klimek et al. 1998, Inaba et al. 2002), während In-vivo-Studien meist epidemiologisch angelegt sind und sich mit der Effizienz der verschiedenen Fluoridverbindungen in Bezug auf Karieshemmung beschäftigen. Doch müssen die Ergebnisse dieser Studien nach Einwag et al. (1993) im klinischen Test unter realistischen Bedingungen verifiziert werden. Untersuchungen über die Fluoridaufnahme unter In-vivo-Bedingungen zeigen, dass hier die Vorgänge sehr viel komplexer ablaufen als unter In-vitro-Bedingungen (Reintsema et al. 1985). So haben Faller et al. (1991) die Fluoridaufnahme aus AmF in den Zahnschmelz unter Laborbedingungen gemessen und konnten die optimale Bioverfügbarkeit unter realistischeren Bedingungen, durch Zugabe von Speichel, nicht mehr feststellen.

In der Vergangenheit wurde Zahnpasten und Spüllösungen eine Vielzahl von Fluoridverbindungen beigelegt und deren kariesinhibierende Wirkung in In-vitro- oder In-vivo-Tests untersucht – mit teilweise kontroversen Ergebnissen. Die häufigsten verwendeten Fluoridverbindungen sind Natriumfluorid, Aminfluorid und Natrium-Monofluorophosphat. Aminfluoridhaltige Zahnpasten scheinen in ihrer kariespräventiven Wirkung höher einzuschätzen zu sein als Zahnpasten, die Natriumfluorid, Monofluorophosphat oder Kombinationen der Verbindungen enthalten (Zimmer et al. 1994). Diese Vermutungen lassen sich äußern nach Auswertung von In-vitro-Tests,

tierexperimenteller und klinischer sowie epidemiologischer Studien (Caslavská et al. 1971, Klimek 1981, Barbakow et al. 1988, Gülzow 1993, Klimek et al. 1998). Die Untersuchungen von Einwag et al. (1993), Arends et al. (1994) und Burk et al. (1997) konnten diese Ergebnisse aber nicht bestätigen.

Ebenso wurde eine Vielzahl von Studien durchgeführt, um den kariesprotektiven Effekt bei unterschiedlicher Fluoridkonzentration (zwischen 250 ppm F⁻ und 2500 ppm F⁻) in Zahnpasten zu bestimmen (Stephen 1993, Warren und Levy 1999). Fluoridkonzentrationen über 1000 ppm F⁻ erwiesen sich dabei als wirkungsvoller, weshalb die maximal zulässige F⁻-Konzentration in Zahnpasten in Ländern der Europäischen Gemeinschaft auf 1500 ppm F⁻ festgelegt wurde. Da bei dieser F⁻-Konzentration bei Verschlucken eine Fluorosegefahr für permanente Zähne während der Mineralisationsphase besteht, sind Kinderzahnpasten niedriger dosiert. Anfang der 80er Jahre betrug der Fluoridgehalt 250 ppm F⁻. Diese F⁻-Konzentration bot jedoch keinen verlässlichen kariesprotektiven Schutz (Koch et al. 1990, WHO 1994, Loveren und König 1999), sodass 1998 die Erhöhung des Fluoridgehalts in Kinderzahnpasten auf 500 ppm F⁻ erfolgte.

Die Selbstapplikation von Fluoriden mit der Zahnpasta stellt eine praktische, effektive und nach Stöber et al. (2005) die wichtigste Verabreichungsart für die Gruppenprophylaxe dar. Ihre Wirksamkeit wird mit Kariesreduktionen von 20 - 30 % von Gülzow (1995) und Axelsson (1999) und zwischen 20 – 50 % von Koch (2003) beschrieben.

Es ist nach wie vor das Bestreben die kariesprophylaktische Wirksamkeit der Fluoridpräparate zu erhöhen. Das kann durch Optimierung der Bioverfügbarkeit bereits angewandter Fluoridverbindungen oder durch Suche neuer und effizienter wirkender Fluoride zum Ersatz geschehen.

3 Zielstellung

Klinisch kontrollierte Studien, die Zahnpasten mit Natriumfluorid oder Aminfluorid direkt nebeneinander benutzten und einen statistisch sicheren Vergleich (evidence based) erlauben, wurden bisher nicht durchgeführt. Zahlreiche In-vitro-Tests wiesen darauf hin, dass Aminfluorid dem Natriumfluorid scheinbar hinsichtlich seiner kariespräventiven Eigenschaften überlegen ist (Gülzow et al. 1993, Gintner et al. 2000). Burk et al. (1997) zeigten aber gegenteiliges, denn sie beobachteten in einer In-vitro-Studie die niedrigste Fluoridaufnahme im Schmelz nach Verwendung einer AmF-haltigen Zahnpasta im Vergleich zu NaF-, NaMFP- und AmF+SnF₂-haltigen Produkten. Die besondere Wirksamkeit der Aminfluoride beruht vor allem auf der Kombination ihrer chemischen Eigenschaften; der tensidartigen Molekülstruktur, die für die Benetzung und Konzentration des Fluorids an der Zahnoberfläche sorgt und dem schwach sauren pH-Wert, der verantwortlich ist für die Bildung einer gut und lange haftenden Kalziumfluorid-Deckschicht und die erhöhte Fluoridaufnahme in den Zahnschmelz.

Die Untersuchungen von Strübig und Gülzow (1986) zeigten, dass die Fluoridanreicherung im Schmelz durch Aminfluoride weniger von der Fluoridkonzentration, als vom pH-Wert beeinflusst wird. Das Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie bestand deshalb darin,

1. den Einfluss des pH-Wertes auf die Fluorideinlagerung in Zahnschmelz im Vergleich mit Natriumfluorid zu untersuchen. In Zahnpasten und Spüllösungen liegt NaF mit annähernd neutralen pH-Wert vor. In dieser Untersuchung sollen Natriumfluoridlösungen mit jeweils 1500 ppm F⁻ und pH-Werten zwischen 3,0 und 7,0 getestet werden.
2. Weiterhin sollte überprüft werden, ob organische Fluoridverbindungen und anorganische Fluoridverbindungen bei identischen schwach sauren pH-Werten und gleichen Fluoridkonzentrationen hinsichtlich der Fluorideinlagerung in den Schmelz vergleichbar sind. Da die Aminfluoridverbindungen auf Grund ihrer Herstellung einen spezifischen Ionenhintergrund aufweisen, sollten diese Faktoren zusätzlich berücksichtigt werden.
3. Mühlemann (1983) und Schmid (1983) führten fluoridunabhängig die gute Oberflächenhaftung der Aminfluoride auf den kationischen Aminteil zurück. Das in handelsüblichen Fluoridpräparaten enthaltene Olaflur basiert auf dem Fettsäuregemisch

von Rindertalg. Das gegenwärtig nicht medienpräsen­te aber an Aktualität nicht ver­lierende Thema der BSE-Problematik, lässt Überlegungen zur Substitution von Olaflur verstehen, auch wenn zur Zeit eine Kontamination von Olaflur mit Prionen aufgrund der Synthesebedingungen auszuschliessen ist. Die vorliegende Untersuchung sollte in diesem Zusammenhang Aufschluss über die Fluoridanreicherung im Zahnschmelz durch Aminfluoride unterschiedlicher aliphatischer Kettenlängen oder unterschiedlicher natürlicher Herkunft der organischen Komponente geben. Dazu standen sechs Aminfluoridlösungen mit pflanzlicher, tierischer oder rein chemischer Herkunft des organischen Restes mit gleicher Fluoridkonzentration (1500 ppm F⁻) zur Verfügung, um daraus einerseits Empfehlungen für zukünftige Fluoridpräparate zur Lokalapplikation abzuleiten und andererseits Möglichkeiten zum Ersatz des bovinen Grundstoffes durch Produkte anderer Herkunft aufzuzeigen.

4 Material und Methoden

4.1 Herkunft und Art des Untersuchungsmaterials

4.1.1 Die Rindermilchzähne

Insgesamt standen für die Untersuchungen 187 Rindermilchzähne zur Verfügung. Dabei handelte es sich um jeweils die vier unteren Inzisivi von Kälbern im Alter bis zu zwei Jahren (Abb. 3). Die ausgelösten kompletten Unterkiefer bzw. Unterkieferfrontsegmente wurden tiefgekühlt bei -18°C bis zur weiteren Bearbeitung aufbewahrt. Die Kronen der vollständig durchgebrochenen Zähne wurden mittels Handstück und Trennscheibe im Ganzen vom Kiefer getrennt, von Weichgewebsresten, Verschmutzungen und Belägen befreit und bis zur analytischen Bearbeitung in physiologischer Kochsalzlösung mit Natriumacid (0,01%) im Kühlschrank gelagert.



Abb. 3: Milchschneidezähne eines Rinderkiefers

4.1.2 Die verwendeten Fluoridlösungen

Insgesamt wurden 12 verschiedene Fluoridlösungen auf ihren Einfluss auf die Fluoridakkumulation im Zahnschmelz untersucht (Tab. 1). Dabei handelte es sich um 6 Aminfluoridlösungen und 6 Natriumfluoridlösungen, letztere dienten als Referenzen. Die Natriumfluoridlösungen, mit jeweils der gleichen Konzentration von 1500 ppm F⁻, unterschieden sich in ihren pH-Werten. Bei den Aminfluoridlösungen handelte es sich um Lösungen unterschiedlicher aliphatischer Kettenlänge mit synthetischer, pflanzlicher oder tierischer Herkunft der organischen Komponenten. Die Lösungen waren alle auf 1500 ppm F⁻ eingestellt und zeigten geringe pH-Wert-Unterschiede.

Tab. 1: Verwendete Fluoridlösungen und ihre pH-Werte

| | NaF-Lösung | pH-Wert | AmF-Lösung _{Herkunft} | pH-Wert |
|---|--------------------|---------|--------------------------------|---------|
| 1 | NaF | 3,0 | Steraflur _{C18} | 4,3 |
| 2 | NaF | 4,0 | Cetaflur _{C16} | 4,3 |
| 3 | NaF _{KOH} | 4,3 | Myraflur _{C14} | 4,3 |
| 4 | NaF | 4,3 | Xidecaflur _{Sojaöl} | 4,1 |
| 5 | NaF | 5,0 | Olaflur _{Rapsöl} | 4,0 |
| 6 | NaF | 7,0 | Olaflur _{Rind} | 4,3 |

4.1.2.1 Die Aminfluoridlösungen

Die untersuchten Aminfluoridlösungen wurden von GABA International, Schweiz zur Verfügung gestellt. Dabei handelte es sich um drei synthetisch hergestellte Aminfluoride. Diese waren im Einzelnen Steraflur_{C18}, Cetaflur_{C16} und Myraflur_{C14}. Bei zwei Aminfluoriden war die organische Komponente pflanzlicher Natur. Bei der Synthese von Olaflur_{Rapsöl} wurde das Fettsäuregemisch von Rapsöl eingesetzt und bei Xidecaflur_{Sojaöl} war das Fettsäuregemisch aus Sojaöl. Außerdem wurde das in der handelsüblichen Elmex-Zahnpasta verwendete Olaflur_{Rind} untersucht, dessen Fettsäuregemisch auf Rindertalg basiert und damit tierischer Herkunft ist. Olaflur_{Rapsöl} und Olaflur_{Rind} sind Monoamin-Monohydrofluoride. Xidecaflur_{Sojaöl}, Steraflur_{C18}, Cetaflur_{C16} und Myraflur_{C14} stellen Diamin-Dihydrofluoride dar. Bei der Synthese der drei letztgenannten Aminfluoride wurden nicht Fettsäuregemische, sondern die reinen aliphatischen Fettsäuren Stearinsäure (18 C-Atome), Palmitinsäure (16 C-Atome) und Myristinsäure (14 C-Atome) verwendet (Tab. 2).

Tab. 2: Chemische Charakterisierung der untersuchten Aminfluoride

| Aminfluorid | Chemische Charakterisierung |
|------------------------------|--|
| Oleaflurderivate | $\left \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH} \\ \diagup \\ \text{R} - \text{N} \\ \diagdown \\ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH} \end{array} \right \text{HF} = \text{Oleaflur-Base} \\ \text{(Monohydrofluorid)}$ |
| Steraflur _{C18} | R = reine C18 Seitenkette aus Stearinsäure |
| Cetaflur _{C16} | R = reine C16 Seitenkette aus Palmitinsäure |
| Myraflur _{C14} | R = reine C14 Seitenkette aus Myristinsäure |
| Xidecaflur _{Sojaöl} | R = Fettsäuregemisch von Sojaöl |
| Olaflurderivate | $\left \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH} \qquad \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH} \\ \qquad \qquad \qquad \diagup \\ \text{R} - \text{N} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{N} \\ \qquad \qquad \qquad \diagdown \\ \qquad \qquad \qquad \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH} \end{array} \right 2\text{HF} = \text{Olaflur-Base} \\ \text{(Dihydrofluorid)}$ |
| Olaflur _{Rapsöl} | R = Fettsäuregemisch von Rapsöl |
| Olaflur _{Rind} | R = Fettsäuregemisch von Rindertalg |

4.1.2.2 Die Natriumfluoridlösungen

Zur Herstellung der NaF-Lösungen mit definiertem pH-Wert wurde Sörensen-Phosphatpuffer (0,05 mmol/l) benutzt. Der außerhalb des Pufferbereiches liegende pH von 3,0 wurde durch Zugabe konzentrierter 85%iger Phosphorsäure (H₃PO₄) und Einstellung am pH/Millivoltmeter pMX 2000 (WTW, Weilheim, Deutschland) hergestellt. Die Fluoridkonzentrationen der Lösungen von 1500 ppm F⁻ wurden durch Einwaage von 3,315 g NaF auf 1,0 l Aqua dest. erreicht.

Die als Referenz für Aminfluorid dienende Olaflur_{Rind}-Lösung hatte einen pH von 4,3 und eine Säurezahl von 4,5. Um diesen Ionenhintergrund für eine ausgewählte NaF-Lösung zu simulieren, wurde destilliertes Wasser mit 4,5 mg KOH pro ml versetzt und mit Phosphorsäure (H₃PO₄) auf einen pH-Wert von 4,3 eingestellt. Die Säurezahl ist die Menge an KOH in mg, die notwendig ist, um 1g Fett zu neutralisieren und dient der Bestimmung der freien (nichtveresterten) Fettsäuren. Diese Zahl steht im

Zusammenhang mit der Gewinnung der aliphatischen Amine. Anschließend erfolgte die Einwaage an NaF zur Einstellung der Fluoridkonzentration auf 1500 ppm F⁻.

4.2. Versuchsablauf

4.2.1 Design der Gesamtstudie

Die vorliegende Arbeit beinhaltet die Resultate der Fluoridanreicherung im Zahnschmelz für die genannten Fluoridlösungen nach Durchführung folgender Untersuchungen:

4.2.1.1 pH-Wert-Einfluss auf die Fluorideinlagerung im Zahnschmelz aus Natriumfluorid und Olaflur_{Rind}

In der ersten Untersuchungsreihe wurden vier 1500 ppm natriumfluoridhaltige Lösungen mit den pH-Werten 3,0, 4,0, 5,0 und 7,0 auf ihren Einfluss auf die Fluorideinlagerung im Zahnschmelz getestet. Als Referenz diente die Aminfluoridlösung Olaflur_{Rind} (GABA) mit einer Fluoridkonzentration von 1500 ppm F⁻ und einem pH-Wert von 4,3 (Tab. 3).

Tab. 3: NaF-Lösungen und Olaflur_{Rind} zur Untersuchung des pH-Wert-Einflusses auf die F⁻-Einlagerung in Zahnschmelz

| Fluoridlösung | n Schmelzprobe | pH-Wert | F ⁻ -Konzentration in ppm F ⁻ |
|-------------------------|-------------------|---------|--|
| NaF | 9 | 3,0 | 1500 |
| NaF | 15 | 4,0 | 1500 |
| NaF | 10 | 5,0 | 1500 |
| NaF | 9 | 7,0 | 1500 |
| Olaflur _{Rind} | 5 | 4,3 | 1500 |

4.2.1.2 Einfluss des Ionenhintergrundes auf die Fluorideinlagerung im Zahnschmelz aus Natriumfluorid und Olaflur_{Rind}

Um organische und anorganische Fluoridverbindungen hinsichtlich ihrer Fluoridierungseigenschaften zu bewerten, wurden eine Natriumfluoridlösung und

Olaflur_{Rind} (GABA) mit jeweils der gleichen Konzentration von 1500 ppm F⁻, gleichem pH-Wert von 4,3 und gleicher Säurezahl von 4,5 untersucht (Tab. 4).

Tab. 4: NaF- und AmF-Lösung zur Untersuchung des Einflusses des Ionenhintergrundes auf die Fluorideinlagerung in Zahnschmelz

| Fluoridlösung | n Schmelzprobe | pH-Wert | Säurezahl β | F ⁻ -Konzentration in ppm F ⁻ |
|-------------------------|-------------------|---------|-------------------|--|
| NaF _{KOH} | 8 | 4,3 | 4,5 | 1500 |
| Olaflur _{Rind} | 8 | 4,3 | 4,5 | 1500 |

4.2.1.3 Fluoridanreicherung im Zahnschmelz aus unterschiedlichen Aminfluoridverbindungen

Der Einfluss der organischen Komponente auf die Fluorideinlagerung im Oberflächenschmelz wurde an 6 verschiedenen Aminfluoridlösungen (GABA) getestet, die eine Fluoridkonzentration von 1500 ppm F⁻ und pH-Werte zwischen 4,0 und 4,3 besaßen. Eine Natriumfluoridlösung (1500 ppm F⁻, pH 4,3, GABA) und destilliertes Wasser (GABA) dienten als Kontrolle (Tab. 5).

Tab. 5: AmF-Lösungen zur Untersuchung des Einflusses der organischen Komponente auf die F⁻-Einlagerung in Zahnschmelz im Vergleich zu NaF, H₂O als Kontrolle

| Fluoridlösung | organische Komponente | n Schmelzprobe | pH-Wert | F ⁻ -Konzentration in ppm F ⁻ |
|------------------------------|--------------------------|-------------------|---------|--|
| Steraflur _{C18} | synthetisch | 9 | 4,3 | 1500 |
| Cetaflur _{C16} | | 12 | 4,3 | 1500 |
| Myraflur _{C14} | | 8 | 4,3 | 1500 |
| Xidecaflur _{Sojaöl} | pflanzlich | 10 | 4,1 | 1500 |
| Olaflur _{Rapsöl} | | 8 | 4,0 | 1500 |
| Olaflur _{Rind} | tierisch | 9 | 4,3 | 1500 |
| NaF | | 8 | 4,3 | 1500 |
| Wasser | | 9 | 6,7 | 0 |

4.2.1.4 Reproduzierbarkeit der Fluoridakkumulation im Schmelz ausgewählter Fluoridverbindungen

Die Reproduzierbarkeit der Fluoridanreicherung im Zahnschmelz wurde mit den Aminfluoridlösungen Steraflur_{C18}, Xidecaflur_{Sojaöl}, Olaflur_{Rind} und Wasser überprüft (Tab. 6).

Tab. 6: AmF-Lösungen zur Untersuchung der Reproduktion der F⁻-Anreicherung in Zahnschmelz, H₂O als Kontrolle

| Fluoridlösung | organische Komponente | n Schmelzprobe | pH-Wert | F ⁻ -Konzentration in ppm F ⁻ |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|---------|--|
| Steraflur _{C18} | synthetisch | 10 | 4,3 | 1500 |
| Xidecaflur _{Sojaöl} | pflanzlich | 9 | 4,3 | 1500 |
| Olaflur _{Rind} | tierisch | 9 | 4,3 | 1500 |
| Wasser | | 10 | 6,7 | 0 |

4.2.2 Auswahl der Biopsieareale

Die Schmelzoberfläche der Zähne wurde zum Ausschluss von Sprüngen, Rissen oder Defekten im Schmelz unter dem Stereomikroskop (SM XX, Carl Zeiss Jena) beurteilt. Die Biopsieareale lagen ausschließlich auf der vestibulären Zahnfläche. Die Lage der 2 Ätzareale, zur Bewertung des Ausgangszustandes, sowie des Zustandes nach der Fluoridexposition, wurden subjektiv so dicht wie möglich nebeneinander festgelegt (Abb. 4).



Abb. 4: 2 Biopsieareale zur Bestimmung des F⁻-Gehaltes vor und nach der F⁻-Exposition (nach der Biopsie wurden die geätzten Areale durch Kristallviolett-Lösung (0,01%) sichtbar gemacht)

Die Begrenzung wurde durch eine eigens hergestellte Lochfensterabdeckung vorgenommen. Dabei handelte es sich um ein selbstklebendes kreisrundes Folienfenster mit einem Durchmesser von $1,73 \pm 0,24 \text{ mm}^2$ ($n=10$) (Abb. 5).

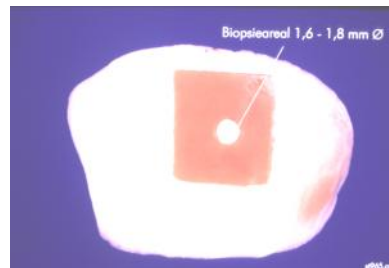


Abb. 5: Lochfensterabdeckung der Schmelzbiopsieareale

Zur repräsentativen Ermittlung der Arealgröße wurden 10 zufällig ausgewählte Biopsieareale mit einem halbautomatischen Bildanalysesystem (ASM 68 K, Ernst Leitz Wetzlar GmbH, Deutschland) in Verbindung mit einem Stereomikroskop (Stemi SV 11, Zeiss, Deutschland) vermessen und berechnet (Abb. 6).

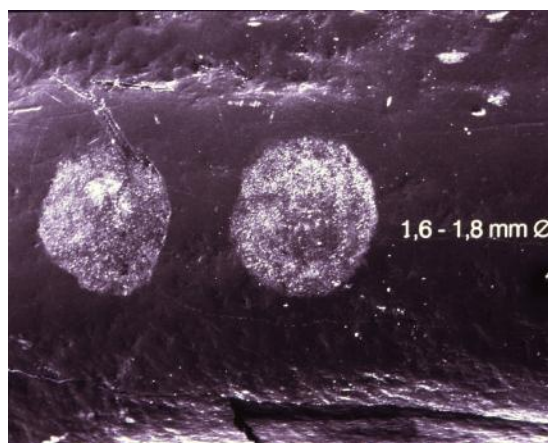


Abb. 6: Biopsieareale im Rasterelektronenmikroskop nach Ätzung des Schmelzes

4.2.3 Methode der Schmelzbiopsie

Das Biopsieverfahren nutzt die Säurelöslichkeit des Zahnschmelzes und wurde im Prinzip von Venkatesvarlu (1977) beschrieben. Die Schmelzbiopsie wurde mit 3 μl Perchlorsäure (HClO_4 , 1,0 mol/l; pH 5,5) durchgeführt, die mit einer Mikroliter-spritze (Hamilton) für 10 Sekunden auf das jeweilige Areal aufgetragen wurde (Abb. 7).

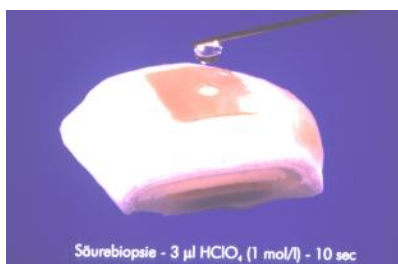


Abb. 7: Schmelzbiopsie durch Säureätztechnik (3 µl HClO₄ – 10 sek)

Die Biopsielösung wurde nach der Einwirkzeit mit der Mikroliterspritze möglichst vollständig abgesaugt und in ein Eppendorfgefäß (500 µl) überführt. Anschließend wurde das Areal zweimal mit je 6 µl Natriumazetatlösung (1,0 mol/l; pH=5,5) gespült und die Spüllösung ebenfalls in das Eppendorfgefäß abgesaugt. Die Reaktionsgefäße wurden mit Parafilm® abgedeckt und in geschlossenen Glasbehältern bis zur Analyse aufbewahrt. Nach Trocknung des Biopsieareals wurde die Ätzung ein oder zweimal wiederholt, um einen Materialabtrag in Schichten zu erhalten. Nach jeder Säurebiopsie standen 15 µl Analysenlösung zur Verfügung.

4.2.4 Exposition des Zahnmateri als in den Testlösungen

Nach den doppelt durchgeführten Schmelzbiopsien auf der Kontrollfläche wurden die Zähne vollständig 10 Minuten in die zu untersuchende Fluoridlösung eingebracht. Nach Ablauf der Einwirkzeit wurden die Zähne mit Aqua dest. abgespült und 24 Stunden in langsam fließenden Aqua dest. gewässert. Die folgenden Schmelzbiopsien in einem benachbarten Areal schlossen sich in der oben beschriebenen Weise an. Alle Werte der Doppelbestimmungen wurden als Mittelwert pro Zahn berechnet.

4.2.5 Methode der Kalziumbestimmung

Die Analyse der Schmelzproben auf ihren Kalziumgehalt wurde ausgeführt, um damit die gelöste Schmelzmenge zu bestimmen. Die Kalziumbestimmung erfolgte am Atomabsorptionsspektrophometer (AAS; 1100 B, Perkin Elmer, USA) (Abb. 8).



Abb. 8: Kalziumbestimmung am Atomabsorptionsspektrophometer (Perkin Elmer)

Das Prinzip der Messung am AAS beruht auf der konzentrationsabhängigen kalziumtypischen Lichtemission einer in einer Flamme verdampften Probe bzw. der Absorption dieses Lichtes der gleichen Wellenlänge (428 nm), das mit einer Kalziumhohlkathodenlampe erzeugt wird. Die Bestimmungsgrenze dieser Methode wurde von Koch und Koch-Dedic (1974) für Kalzium im Bereich von 0,5 µg Ca/ml angegeben. Die Eichung des AAS erfolgte unter Verwendung einer Verdünnungsreihe aus Tritisol®-Kalziumstandardlösungen (Merck, Darmstadt; 100 mg Ca/l), denen Na₂-EDTA-Lösung (Dinatriumdihydrogenethylendinatriumtetraacetat-2hydrat, 1 mol/l, pH = 5,5) zugesetzt wurde, im Konzentrationsbereich von 0,5 bis 4,0 ppm Kalzium (Tab. 7). Die Kalibrierkurve wurde durch das AAS erstellt.

Tab. 7: Zur Eichung verwendete Kalziumkonzentrationen

| ppm Kalzium | mmol/l Kalzium |
|-------------|----------------|
| 0,5 | 0,012 |
| 1,0 | 0,025 |
| 2,0 | 0,05 |
| 4,0 | 0,1 |

Zur eigentlichen Bestimmung wurden den 15 µl Biopsieflüssigkeit 2 µl entnommen und mit 1 ml Na₂-EDTA-Lösung verdünnt, um störende Schwermetallionenkomplexe zu binden. Die Verdünnungen erfolgten mit einer Mikroliterdosierspritze (Hamilton) an einer Feinwaage (Sartorius, KB BA 100, Göttingen). Für die Schmelzbiopate errechnete sich die gelöste Kalziummenge:

$$Kalzium_{gelöst} [mg] = \frac{Kalziumwert_{gemessen} [mg] \times Puffermenge [ml] \times Bioplatgesamtmenge [ml]}{1000ml \times Bioplatteilmenge_{entnommen} [ml]}$$

Durch Einbeziehung des Kalziumgehaltes für den Rinderschmelz nach Esser et al. (1998) ergab sich:

$$Schmelz_{gelöst} [mg] = \frac{Kalzium_{gelöst} [mg] \times 100\%}{31\%}$$

4.2.6 Methode der Fluoridbestimmung

Die Fluoridbestimmung erfolgte mit einer fluoridsensitiven Elektrode (Orion, Kombinationsfluoridelektrode 96-09, USA) in Verbindung mit einem pH/Ionmeter pMX 2000 (WTW, Weilheim, Deutschland) nach dem Verfahren der direkten Potentiometrie und der Eichkurventechnik, wie von Venkatesvarlu (1977) beschrieben (Abb. 9).



Abb. 9: Fluoridbestimmung an der fluoridsensitiven Elektrode (Orion 96-09)

Die Elektrode besteht aus einem von einer Referenzlösung umgebenen Lanthanumfluorid-Kristall (LaF_3). Zwischen dem Kristall und der Referenzlösung tritt eine Spannungsdifferenz auf, die von deren Konzentration abhängig ist. Als Voraussetzung bezeichnete Durst (1969) die Einstellung der Probelösungen auf einen pH-Wert von 5,5 und eine konstante Ionenstärke, die durch TISAB oder Natriumazetatpuffer gewährleistet wird. Es konnte ein linearer Verlauf der Kalibrationskurve bis zu einem Bereich < 1 ppm aufgezeichnet werden. Um Werte mit hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu erhalten, erfolgte die Eichung mit kleinen

Konzentrationsabstufungen von Tritisol®-Fluoridstandard (Merck, Darmstadt, Deutschland; $1000 \text{ mg} \pm 0,002 \text{ mg F}^-/\text{l}$). Es wurden Standardlösungen von 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 und 20,0 ppm F^- benutzt, die für die Messungen im Verhältnis 1:4 mit Natriumazetatpuffer (1 mol/l, pH = 5,5; Rauen 1964) verdünnt wurden, da das Biopat von 3 μl durch die zweimaligen Spülungen des Ätzareals mit jeweils 6 μl Azetatpuffer bereits 1:4 verdünnt und auf den erforderlichen pH-Wert eingestellt war (Abb. 10). Die Reproduzierbarkeit der Eichkurve wurde während der Biopatmessungen durch „Stichproben“ mit den Standardlösungen überwacht.

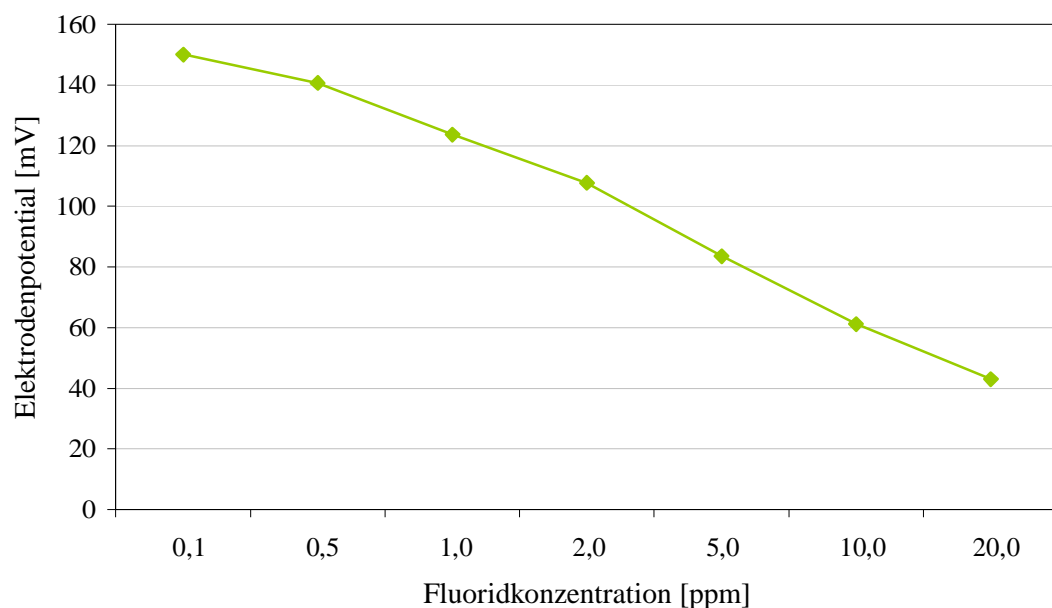


Abb. 10: Eichkurve für die Fluoridbestimmung

Die 10 μl (von 13 μl) Biopsielösung wurden auf einen Objektträger gebracht und die Sensormembran der Elektrode „eingetaucht“. Nach Einstellung eines stabilen Potentials, nach ca. 3 Minuten, wurde der Wert am pH/Millivoltmeter pMX 2000 (WTW, Weilheim, Deutschland) abgelesen. Die ppm F^- -Gehalte der Probenlösungen wurden direkt aus der Eichkurve bestimmt. Um gleiche Ausgangsbedingungen und damit möglichst stabile Werte zu erhalten und Verschleppung von Probenlösungen zu vermeiden, wurde die Elektrode nach jeder Messung bis zum Erreichen eines konstanten Potentials in TISAB-Pufferlösung (pH 5,5) gespült. Der TISAB-Puffer wurde hergestellt durch Gabe von 57,0 g Eisessig, 58,0 g NaCl und 0,3 g Natriumcitrat

in 500 ml Aqua dest., Einstellung des pH auf 5,5 mit NaOH-Plätzchen und Auffüllung auf 1,0 l mit Aqua dest.

Die Fluoridkonzentrationen im Schmelz wurden nach folgendem Rechenweg ermittelt:

$$Fluorid_{Analyse} [mg] = \frac{Fluorid_{gemessen} [mg] \times 0,103 ml}{1000 ml}$$

Unter Einbeziehung der herausgelösten Kalziummenge und dem mit 31% von Esser et al. (1998) ermittelten Kalziumgehalt errechnete sich der Fluoridgehalt im Schmelz wie folgt:

$$Fluorid_{Schmelz} [ppm] = \frac{Fluorid_{Analyse} [mg] \times 31\%}{Kalzium_{gelöst} [mg] \times 100\%}$$

Durch Zusammenfassung der Konstanten konnte die Gleichung für die Praxis vereinfacht werden.

$$Fluorid_{Schmelz} [ppm] = \frac{Fluorid_{gemessen} [mg]}{Kalzium_{gemessen} [mg]} \times 740$$

4.3 Vorversuche

4.3.1 Einfluss des Basisfluoridgehaltes auf die Fluoridanreicherung

Da die Variabilität des Ausgangsfluoridgehaltes der Rinderzähne sehr hoch war, wurde dies als ein möglicher Einfluss auf die Fluoridanreicherung überprüft. Dazu wurden 3 Gruppen mit differentem Ausgangsfluoridgehalt im Schmelz gebildet. Die mittleren Basisfluoridgehalte betrugen 56 ppm F⁻, 457 ppm F⁻ und 944 ppm F⁻ (Tab. 8).

Nach Exposition der Zähne in Olaflur_{Rind} (pH 4,3; 1500 ppm F⁻; GABA), wurden die Fluoridanreicherung nach Schmelzbiopsie in der ersten Biopsietiefe bestimmt.

Tab. 8: Gruppen zur Untersuchung des Einflusses des Basisfluoridgehaltes auf die Fluorideinlagerung

| Gruppe | n Schmelzprobe | Basisfluoridgehalt [ppm F] x ± s |
|--------|-------------------|-------------------------------------|
| 1 | 7 | 56 ± 59 |
| 2 | 7 | 465 ± 142 |
| 3 | 8 | 995 ± 191 |

4.3.2 Einfluss des Fluoridgehaltes auf die Schmelzlöslichkeit

Um eine gute Vergleichbarkeit der analytischen Fluoriddaten zu ermöglichen, müssen einheitliche Ätztiefen erzielt bzw. diese standardisiert berechnet werden.

In der vorliegenden Untersuchung wurde der Einfluss der Fluoridkonzentration auf die Löslichkeit des Schmelzes überprüft. Dazu wurden die Ätztiefen der ersten Biopsieschicht des Zahnschmelzes für zwei Gruppen nach Applikation einer Fluoridlösung (Steraflur_{C18}) bzw. von Wasser ermittelt.

4.3.3 Lösungskinetik des Zahnschmelzes zwischen 5 und 15 Sekunden in 3 µl 1 M Perchlorsäure

Weiterhin erfolgten Voruntersuchungen zur Kalziumsättigung des Biopsietropfens, um die Beeinträchtigung der Biopsien durch Sättigung oder Resedimentation von Kalziumsalzen bei zu langen Biopsiezeiten mit kleinen Volumen auszuschließen.

An drei gebildeten Zahngruppen wurden Schmelzbiopsien nach 5, 10 und 15 Sekunden Einwirkung von Perchlorsäure durchgeführt und die Kalziumkonzentration des Perchlorsäuretropfens ermittelt.

4.4 Statistische Auswertung

Alle Proben wurden als Doppelbestimmungen pro Zahn ermittelt und die Mittelwerte mit Standardabweichungen berechnet.

Die Fluoridkonzentration im Schmelz wurde in ppm pro abgelöster Schmelzmenge berechnet. Durch Bildung der Differenz zwischen den ermittelten Fluoridkonzentrationen der Werte vor und nach Applikation der Testlösungen wurde die Fluoridanreicherung errechnet.

Für die Auswertung wurden die zugrunde liegenden Daten als metrisch betrachtet, so dass parametrische Verfahren verwendet wurden.

Die erreichte Fluoridanreicherung durch die verschiedenen Präparate wurde überwiegend mit uni- und multivariaten Varianzanalysen bzw. t-Tests ermittelt, welche gegenüber Verletzungen der Verteilungsvoraussetzungen weitgehend robust sind (Bortz 1985). Mehrere Messungen an demselben Zahn wurden als unabhängige Daten behandelt, sofern sie an unterschiedlichen Stellen erhoben wurden. Unterschiedliche

Biopsie-Schichten an derselben Stelle wurden dem entgegen als abhängige Daten analysiert.

Es wurde mit dem konventionellen Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ gearbeitet.

Im Falle geplanter Vergleiche wurde auf eine Adjustierung der alpha-Fehler-Kumulation verzichtet. Bei Post-hoc-Tests wurde nach Bonferroni adjustiert.

Die Auswertungen erfolgten mit dem Programm Statistical Package for Social Sciences (SPSS) in den Versionen 10 und 11 für das Betriebssystem Windows.

5 Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Vorversuche

5.1.1 Einfluss des Basisfluoridgehaltes auf die Fluoridanreicherung

Wenn der Ausgangsfluoridgehalt zur Gruppierung benutzt wurde, stellte man unabhängig von niedrigen (56 ppm F⁻), mittleren (457 ppm F⁻) und hohen (995 ppm F⁻) Basisfluoridgehalten nach Applikation der Fluoridlösung statistisch gleich hohe Fluoridakkumulationswerte fest (Tab. 9, p = 0,300). Es wurden Fluoridanreicherungen mit Werten zwischen 346 und 394 ppm F⁻ erreicht.

Die Fluoridgehalte vor und nach Applikation der Olaflur_{Rind}-Lösung, sowie die resultierende Fluoridanreicherung der ersten Biopsieschicht sind in der Tabelle 9 dargestellt (Einzelwerte in Tab. 18, 19, 20 im Anhang)

22 Schmelzproben wurden in drei Gruppen mit einem Ausgangsfluoridgehalt bis 150 ppm F⁻, 350 - 600 ppm F⁻ und 800 - 1200 ppm F⁻ geordnet. Alle Probekörper wurden mit der Aminfluoridlösung Olaflur_{Rind} mit gleicher Konzentration von 1500 ppm F⁻ und gleichem pH-Wert von 4,3 behandelt. In allen drei Gruppen war die Fluoridbindung unterschiedlich (Tab. 9). Der Einfluss des Basisfluoridgehaltes auf die F⁻-Akkumulation konnte statistisch nicht nachgewiesen werden, obwohl sich eine negative Korrelation zwischen Ausgangsfluoridgehalt und F⁻-Anreicherung andeutet (Tab. 10).

Tab. 9: Einfluss des Basisfluoridgehaltes auf die Fluoridanreicherung in der ersten Biopsieschicht nach Applikation von Olaflur_{Rind}

| Gruppe [ppm F ⁻] | n | F-gehalt [ppm F ⁻] x ± s | | F-anreicherung [ppm F ⁻] x ± s | p-value (F ⁻ -Anreicherung) |
|---------------------------------|---|---|------------------|---|---|
| | | vor Applikation | nach Applikation | | |
| bis 150 | 7 | 56 ± 59 | 402 ± 209 | 346 ± 199 | } 0,300 |
| 350-600 | 7 | 465 ± 142 | 859 ± 262 | 394 ± 248 | |
| 800-1200 | 4 | 995 ± 191 | 1346 ± 263 | 351 ± 325 | |

Tab. 10: Korrelation nach Pearson und Signifikanz der Fluoridanreicherung in der ersten Biopsieschicht für Schmelzproben geordnet nach Ausgangsfluoridgehalten, n = Einzelwerte der Proben

| | bis 150 ppm F ⁻ | 350 – 600 ppm F ⁻ | 800 – 1200 ppm F ⁻ |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| n | 14 | 14 | 8 |
| Korrelation nach Pearson | - 0,025 | - 0,189 | - 0,586 |
| Signifikanz | 0,466 | 0,259 | 0,063 |

5.1.2 Einfluss des Fluoridgehaltes auf die Biopsietiefe

Ob durch unterschiedliche Fluoridanreicherung unterschiedliche Ätztiefen erzielt wurden, sollte bei separater Gegenüberstellung der Resultate der Ätztiefen in 2 Gruppen beurteilt werden.

Steraflur_{C18} und die Kontrollexposition mit Wasser wurden hinsichtlich der Ätztiefen in der ersten Biopsieschicht verglichen.

Nach 10 Sekunden Einwirkung von 3 µl Perchlorsäure (1 M, pH 5,5) wurden mittlere Ätztiefen von 3,66 µm nach Steraflur_{C18} und 3,85 µm in der Kontrollgruppe bestimmt (Tab. 11). Wenn auch ein niedriger Wert in der AmF-Gruppe resultierte, ist bei der großen Streuung statistisch kein fluoridbedingter Unterschied in der Biopsietiefe belegbar (Tab. 11, p = 0,27).

Tab. 11: Ätztiefen der ersten Biopsieschicht nach Applikation von Steraflur_{C18} im Vergleich zu Wasser

| Applikation | n | F ⁻ -Konzentration [ppm F ⁻] x ± s | Ätztiefe [µm] x ± s | p-value (Ätztiefe) |
|--------------------------|---|--|------------------------|-----------------------|
| Steraflur _{C18} | 8 | 1285 ± 319 | 3,66 ± 1,32 | } 0,27 |
| Wasser | 8 | 336 ± 255 | 3,85 ± 0,22 | |

5.1.3 Lösungskinetik des Zahnschmelzes zwischen 5 und 15 Sekunden in 3 µl 1 M Perchlorsäure

Wie aus der Tabelle 12 und der Abbildung 11 deutlich ersichtlich ist, fand eine kontinuierliche Auflösung des Zahnschmelzes bis 15 Sekunden während der Biopsie durch die Perchlorsäure (HClO_4) statt. Nach 5 Sekunden Einwirkzeit der Säure betrug die Kalziumkonzentration im Perchlorsäuretropfen 72 mmol/l. Nach Verdopplung der Einwirkzeit auf 10 Sekunden betrug die gelöste Kalziummenge 93 mmol/l und nach 15 Sekunden stieg die Auflösung des Schmelzes weiter linear auf 115 mmol/l gelöstes Kalzium im Säuretropfen an. Der 3 µl große Tropfen scheint bis zu diesem Zeitpunkt immer noch nicht gesättigt, so dass die Biopsie bis zu 15 Sekunden mit der 1 M Perchlorsäure in einem 3 µl großen Tropfen ausgedehnt werden kann.

Tab. 12: Lösungskinetik des Zahnschmelzes zwischen 5 und 15 Sekunden in 3 µl 1 M Perchlorsäure

| Zeit [sec] | n | Ca-Konzentration in 3 µl 1 M HClO_4 [mmol/l] $\bar{x} \pm s$ |
|------------|----|--|
| 5 | 10 | 71,98 ± 7,31 |
| 10 | 10 | 93,19 ± 9,47 |
| 15 | 10 | 114,58 ± 7,03 |

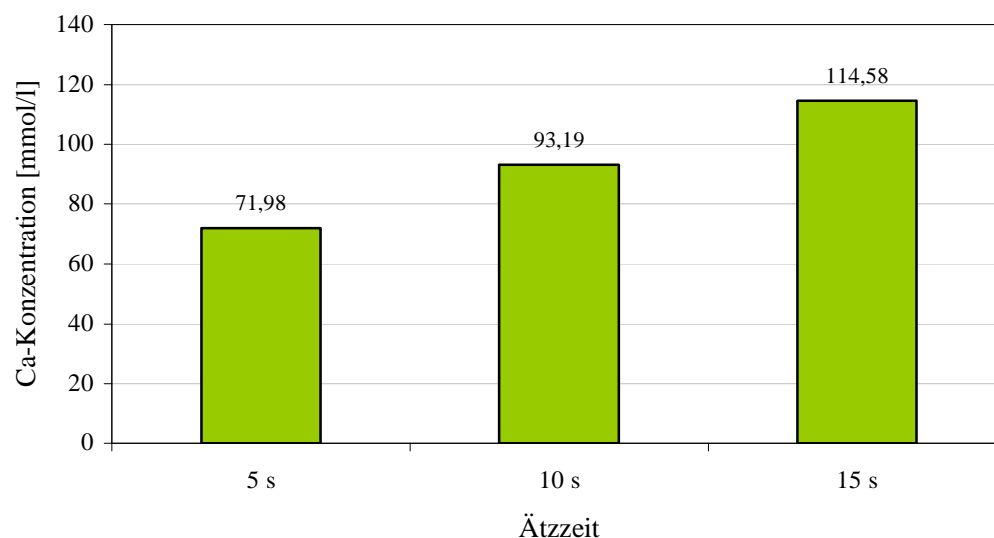


Abb. 11: Lösungskinetik des Zahnschmelzes zwischen 5 und 15 Sekunden in 3 µl 1 M Perchlorsäure (n=10)

5.2 Ergebnisse der In-vitro-Untersuchungen

5.2.1 Fluorideinlagerung im Zahnschmelz aus Natriumfluoridlösungen mit unterschiedlichen pH-Werten und Olaflur_{Rind}

Zur Bewertung der Fluoridanreicherung aus NaF-Lösungen zwischen pH 3,0 und 7,0 wurde die Differenz der Fluoridkonzentrationen vor und nach Applikation der Testlösungen gebildet (Tab. 13). Diese werden durch eine unterschiedliche Anzahl von Einzelwerten repräsentiert (Tab. 21-33 im Anhang). Die Mehrzahl der Gruppen hatte als Ausgangswert einen Fluoridgehalt zwischen 334 und 382 ppm F⁻, 2 Gruppen wiesen Fluoridkonzentrationen um 100 ppm F⁻ auf. In den 3 Schichten fiel ins Innere hin der Fluoridgradient von etwa 400 auf 180-200 ppm F⁻ ab, bzw. von etwa 100 auf 50 ppm F⁻ ab.

Nach der Fluoridexposition war in allen Gruppen ein Anstieg der F⁻-Konzentration in allen 3 Schichten festzustellen. Höchste F⁻-Konzentrationen in der äußersten Schmelzschicht wurden bei Olaflur_{Rind} mit Werten von 648 ppm F⁻ und bei NaF_{pH 3} mit 1074 ppm F⁻ ermittelt. Die entsprechenden Werte für NaF_{pH 4}, NaF_{pH 5} und NaF_{pH 7} lagen zwischen 486 und 518 ppm F⁻. Bei der Gegenüberstellung der F⁻-Konzentrationsgradienten (Tab. 13) verliefen diese bei NaF_{pH 3} und Olaflur_{Rind} am steilsten. Die Konzentrationsgefälle des Fluorids waren bei den pH-Werten 5,0 und 7,0 geringer ausgeprägt und ähnelten dem Fluoridprofil der Basiswerte.

Die ermittelten hohen F⁻-Anreicherungen verhielten sich umgekehrt proportional zum pH-Wert ($r = -0,534$). Die NaF-Lösung mit der höchsten H⁺-Ionen-Konzentration führte in der äußersten Schicht zur einer signifikant ($p < 0,001$) stärkeren Fluoridanreicherung als die neutrale NaF-Lösung, so dass bei pH 3,0 fast 700 ppm F⁻ erreicht wurden, während die neutrale NaF-Lösung nur eine Anreicherung von 100-150 ppm F⁻ zur Folge hatte. Die Fluoridanreicherung in den 2 folgenden Biopsieschichten umfasste 300 ppm F⁻ bei der sauren NaF-Lösung; bei der neutralen Lösung unterschied sich das F⁻-Profil zwischen den Schichten nur um 30 ppm F⁻. Dieser Unterschied in der F⁻-Anreicherung bei den unterschiedlichen pH-Werten war statistisch signifikant ($p = 0,026$). Die unterschiedliche Steilheit der Fluoridanreicherung ist in Abbildung 12 dargestellt, die ausweist, dass bei neutralem pH-Wert eine geringere Fluoridanreicherung in der Oberfläche und ein flacherer Anstieg resultiert.

Wenn die Olaflur_{Rind}-Lösung mit pH 4,3 in die Betrachtung einbezogen wurde, war zu erkennen, dass bei der organischen Fluoridlösung mehr Fluorid (549 ppm F⁻)

eingelagert wurde, als bei der anorganischen Natriumfluoridlösung mit pH 4,0 (423 ppm F⁻). Dieser Unterschied war aber statistisch nicht signifikant (p = 0,057).

Tab. 13: Einfluss des pH-Wertes von NaF auf die Fluoridanreicherung im Zahnschmelz im Vergleich zu Olaflur_{Rind}

| F ⁻ -lösung | Biopsie-schicht | F ⁻ -gehalt [ppm F ⁻] x ± s | | F ⁻ -anreicherung [ppm F ⁻] x ± s |
|-----------------------------------|-----------------|---|------------------|---|
| | | vor Applikation | nach Applikation | |
| NaF _{pH 3} | 1 | 382 ± 359 | 1074 ± 595 | 692 ± 475* |
| | 2 | 258 ± 252 | 664 ± 430 | 406 ± 342 |
| | 3 | 190 ± 201 | 574 ± 422 | 384 ± 400 |
| NaF _{pH 4} | 1 | 96 ± 97 | 519 ± 139 | 423 ± 147* |
| | 2 | 57 ± 74 | 369 ± 146 | 312 ± 155 |
| | 3 | 52 ± 72 | 278 ± 107 | 227 ± 124 |
| NaF _{pH 5} | 1 | 334 ± 264 | 518 ± 336 | 183 ± 135* |
| | 2 | 266 ± 258 | 350 ± 307 | 84 ± 152 |
| | 3 | 217 ± 224 | 266 ± 240 | 49 ± 115 |
| NaF _{pH 7} | 1 | 335 ± 280 | 486 ± 428 | 152 ± 215* |
| | 2 | 221 ± 223 | 329 ± 383 | 108 ± 223 |
| | 3 | 187 ± 211 | 304 ± 425 | 117 ± 267 |
| Olaflur _{Rind} pH 4,3 | 1 | 99 ± 127 | 648 ± 204 | 549 ± 249* |
| | 2 | 79 ± 113 | 503 ± 218 | 425 ± 115 |
| | 3 | 75 ± 105 | 272 ± 118 | 207 ± 71 |

* - Korrelation nach Pearson: r = -0,534
 - Signifikanz: p = < 0,001

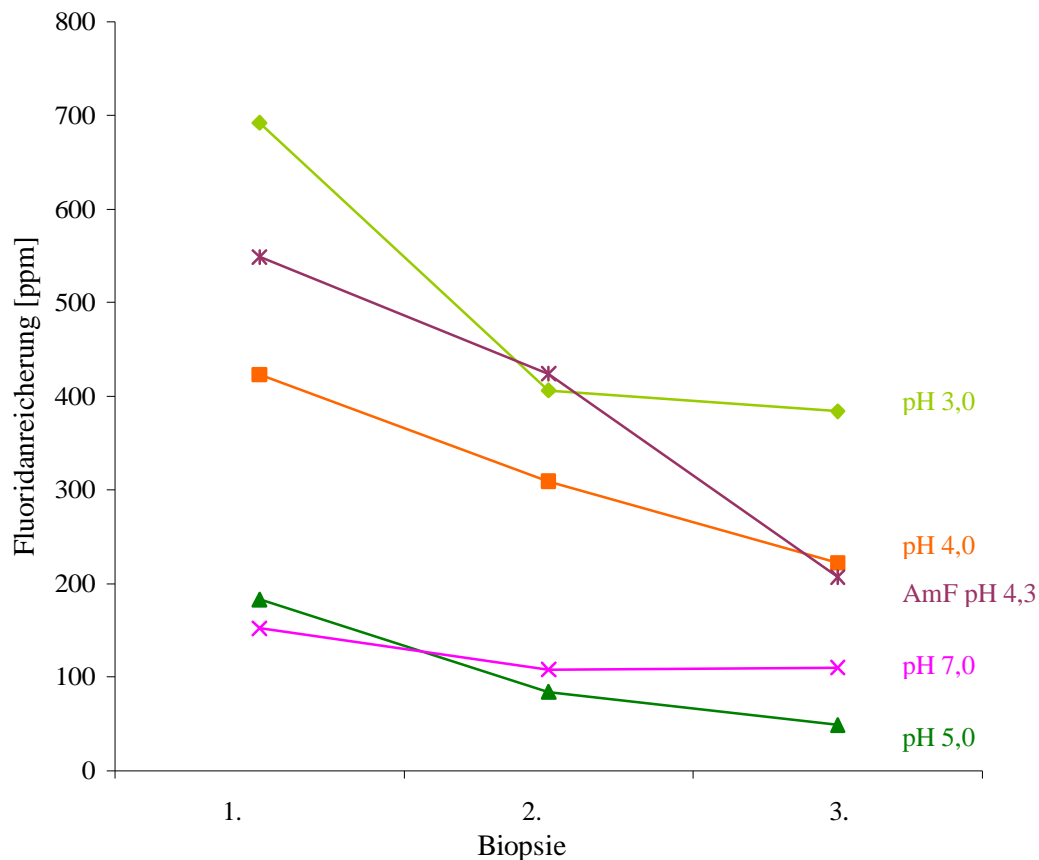


Abb. 12: Einfluss des pH-Wertes von NaF auf die Fluoridanreicherung im Zahnschmelz im Vergleich zum Aminfluorid Olaflur_{Rind}

5.2.2 Fluoridanreicherung im Schmelz aus NaF und Olaflur_{Rind} bei gleichem Ionenhintergrund

Die NaF-Lösung, die auf den gleichen pH-Wert (4,3), die gleiche Fluoridkonzentration (1500 ppm F⁻) und die gleiche Säurezahl ($\beta = 4,5$) eingestellt war, führte mit einer Fluoridanreicherung von 251 ppm F⁻ in der 1. Biopsieschicht zu einer niedrigeren Anreicherung, als die Aminfluoridlösung mit 531 ppm F⁻ (Tab. 14). Damit bewirkte die NaF-Lösung 47% der Fluoridakkumulation, die durch die AmF-Lösung registriert wurde. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ($p < 0,05$). Die Ausgangsfluoridgehalte beider Untersuchungsgruppen waren mit 58 ppm F⁻ (NaF_{KOH}) und 73 ppm F⁻ (Olaflur_{Rind}) nahezu identisch (Tab. 14), wie auch der Gradient (Abb. 13).

Die höchste Fluoridakkumulation wurde durch beide Lösungen in der äußersten Schmelzschicht erzielt. Die Fluoridanreicherung bzw. Fluoridkonzentration im Schmelz

nahm mit zunehmender Ätztiefe ab, sowohl nach Einwirkung der NaF-Lösung als auch nach der Aminfluoridlösung (Tab. 14, Abb. 13, Einzelwerte Tab. 34-39 im Anhang). Dabei zeigten die F⁻-Gradienten vor Applikation geringe Konzentrationsunterschiede zwischen der Oberfläche und tieferen Schmelzschichten. Die Applikation der Fluoridlösungen führte bei der Olaflur_{Rind}-Lösung zu einem steileren F⁻-Gradienten als durch die NaF-Lösung (Abb. 13).

Tab. 14: Einfluss des Ionenhintergrundes auf die Fluoridanreicherung im Zahnschmelz

| F ⁻ -lösung | Biopsie-schicht | F ⁻ -gehalt [ppm F] x ± s | | F ⁻ -anreicherung [ppm F] x ± s |
|-------------------------|-----------------|---|------------------|---|
| | | vor Applikation | nach Applikation | |
| NaF _{KOH} | 1 | 58 ± 67 | 309 ± 233 | 251 ± 198 |
| | 2 | 37 ± 44 | 204 ± 197 | 179 ± 164 |
| | 3 | 26 ± 30 | 191 ± 177 | 158 ± 154 |
| Olaflur _{Rind} | 1 | 73 ± 104 | 605 ± 397 | 531 ± 429 |
| | 2 | 61 ± 96 | 383 ± 318 | 321 ± 332 |
| | 3 | 47 ± 81 | 359 ± 326 | 311 ± 343 |

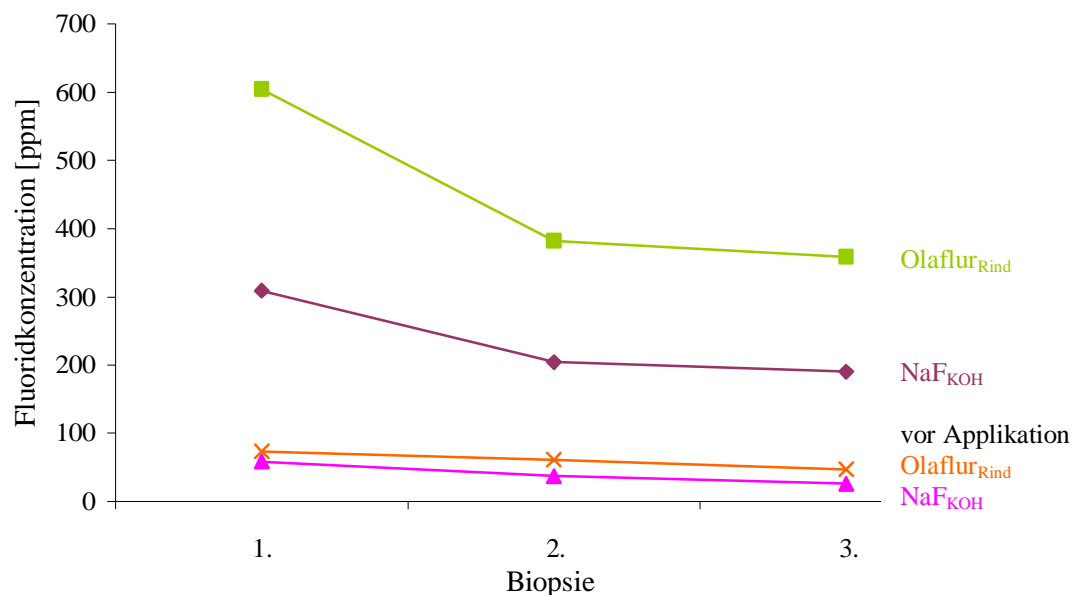


Abb. 13: Einfluss des Ionenhintergrundes auf die Fluoridkonzentration im Zahnschmelz; NaF im Vergleich mit Olaflur_{Rind}

5.2.3 Fluoridanreicherung aus unterschiedlichen Aminfluoridverbindungen

Die In-vitro-Applikation der Aminfluoridlösungen mit pH-Werten zwischen 4,0 und 4,3 steigerte die F^- -Konzentration in der äußeren Schmelzschicht (Tab. 15, Abb. 14). Den höchsten Fluorideinbau von 760 ppm F^- bewirkte Steraflur_{C18}. Die geringste Fluoridanreicherung wurde durch mitgeführtes NaF (249 ppm F^-) erzielt.

Teilt man Aminfluoridgruppen nach der Herkunft ihrer organischen Komponente ein, wurden für die synthetischen Aminfluoride Fluoridanreicherungen zwischen 298 und 760 ppm F^- in der ersten Biopsieschicht ermittelt. Für die aus Naturstoffen hergestellten Aminfluoride wurden Fluoridakkumulationen zwischen 340 und 430 ppm F^- registriert. Wenn die zu testenden AmF-Präparate mit synthetisch hergestellter organischer Komponente untereinander verglichen wurden, zeigte sich, dass parallel zur steigenden Kettenlänge die Fluorideinlagerung zunahm; statistisch jedoch nicht signifikant zu unterscheiden war. Myraflur_{C14} mit 298 ppm F^- Fluoridanreicherung folgte Cetaflur_{C16} mit einer Fluoridakkumulation von 553 ppm F^- ($p = 0,506$) und daran schloss Steraflur_{C18} (760 ppm F^-) ($p = 0,735$) an. Der pH-Wert der drei Lösungen war mit 4,3 identisch.

Die erzielte Schmelzfluoridierung durch die Präparate aus organischen Naturstoffen war etwa gleich hoch und ließ sich untereinander nicht signifikant unterscheiden ($p = 1,0$). Wie in Abbildung 14 ersichtlich, wurde in der ersten Biopsieschicht der scheinbar höchste Fluorideinbau durch Olaflur_{Rapsöl} mit 434 ppm F^- gemessen. Die scheinbar schlechteste Fluoridanreicherung hatte mit 340 ppm F^- Xidecaflur_{Sojaöl} zur Folge. Die pH-Werte zwischen 4,0 und 4,3 unterschieden sich kaum voneinander.

Die höhere Fluoridbindung am Schmelz durch die synthetischen Aminfluoride gegenüber den aus Naturstoffen konnte im Paarvergleich von Steraflur_{C18} gegenüber Olaflur_{Rapsöl} statistisch gesichert werden (Tab. 15, $p = 0,035$). Im Vergleich zum NaF wurde durch die Aminfluoride Steraflur_{C18} und Olaflur_{Rapsöl} deutlich mehr Fluorid eingelagert. Bei statistischer Betrachtung ließ sich für das synthetische AmF Steraflur_{C18} ein signifikanter Unterschied ($p = 0,007$) nachweisen, während der Paarvergleich für das Aminfluorid Olaflur aus Rapsöl gegenüber NaF mit $p = 0,201$ keine statistisch höhere Fluoridierung des Schmelzes nachwies.

Die Exposition der Kontrollgruppe in Wasser änderte den Basisfluoridgehalt nicht.

Die Fluoridanreicherung im Schmelz durch die Fluoridlösungen erfolgte nicht nur an der Oberfläche, sondern auch in der Tiefe und reproduzierte den F^- -Gradienten, der nach Myraflur_{C14} und Xidecaflur_{Sojaöl} nicht gefunden wurde (Abb. 14, Tab. 40-55 Anhang).

Tab. 15: Fluoridanreicherung aus unterschiedlichen Aminfluoriden im Vergleich zu NaF und Wasser als Kontrolle

| Fluoridlösung | pH-Wert | F ⁻ -anreicherung in den Biopsieschichten | | |
|------------------------------|---------|--|---------|-------------|
| | | 1. x ± s | t-Test | 2. x ± s |
| Steraflur _{C18} | 4,3 | 760 ± 356 | p=0,035 | 663 ± 418 |
| Cetaflur _{C16} | 4,3 | 553 ± 378 | | 525 ± 312 |
| Myraflur _{C14} | 4,3 | 298 ± 483 | | 318 ± 373 |
| Xidecaflur _{Sojaöl} | 4,1 | 340 ± 225 | | 421 ± 262 |
| Olaflur _{Rapsöl} | 4,0 | 434 ± 190 | | 381 ± 176 |
| Olaflur _{Rind} | 4,3 | 379 ± 315 | p=0,201 | 339 ± 319 |
| NaF | 4,3 | 249 ± 346 | | 206 ± 342 |
| Wasser | 6,7 | -6 ± 146 | | -5 ± 78 |

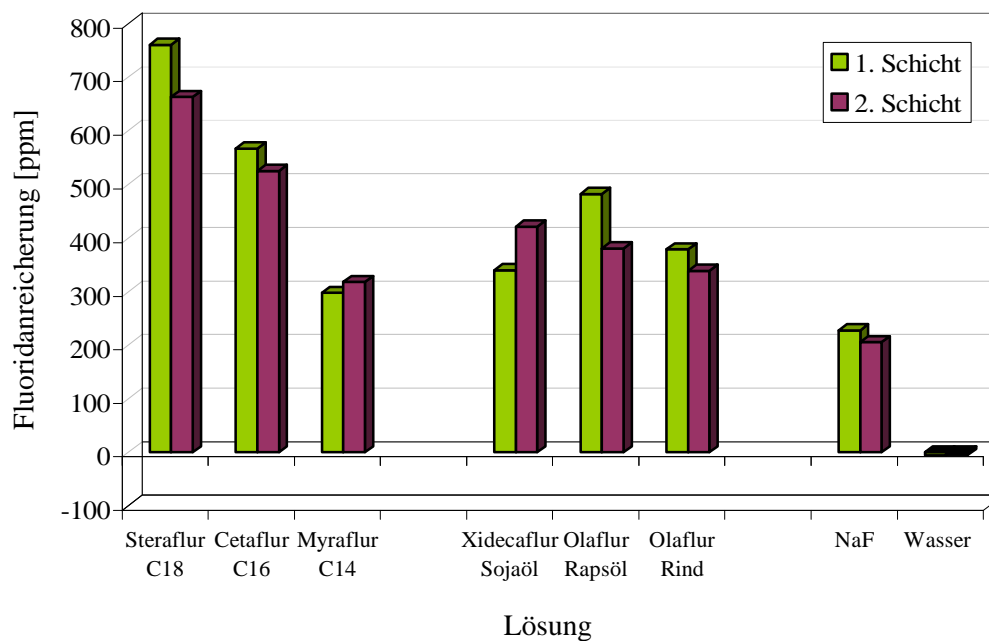


Abb. 14: Fluoridanreicherung aus verschiedenen Aminfluoriden im Vergleich zu NaF und Wasser als Kontrolle

5.2.3.1 Reproduzierbarkeit der Fluoridanreicherung ausgewählter Fluoridverbindungen

Die Ergebnisse der unterschiedlichen Fluoridanreicherung durch die Fluoridverbindungen Steraflur_{C18} (760 ppm F⁻), Xidecaflur_{Sojaöl} (340 ppm F⁻) und Olaflur_{Rind} (380 ppm F⁻) sollte in einer Wiederholungsuntersuchung reproduziert werden.

Der mittlere Basisfluoridgehalt der Gruppen wurde mit Werten zwischen 208 ppm F⁻ und 351 ppm F⁻ ermittelt (Tab. 16, Abb. 15, Tab. 56-67 im Anhang).

Steraflur_{C18} hatte den höchsten Fluorideinbau mit 860 ppm F⁻ (Tab. 16, Abb. 15) zur Folge. Olaflur_{Rind} erzielte mit 485 ppm F⁻ 56% der Fluorideinlagerung von Steraflur_{C18} und Xidecaflur_{Sojaöl} erreichte nur 33% der Wirkung von Steraflur_{C18} und lagerte 296 ppm F⁻ ein.

Die F⁻-Konzentrationen im Schmelz in der Kontrolluntersuchung mit Wasser waren vor und nach der Exposition identisch (Tab. 16).

Tab. 16: Reproduktion der Fluoridanreicherung aus Steraflur_{C18}, Xidecaflur_{Sojaöl} und Olaflur_{Rind} in drei Biopsieschichten.

| F ⁻ -lösung | Biopsie-schicht | F ⁻ -gehalt [ppm F ⁻] x ± s | | F ⁻ -anreicherung [ppm F ⁻] x ± s |
|------------------------------|-----------------|---|------------------|---|
| | | vor Applikation | nach Applikation | |
| Steraflur _{C18} | 1 | 208 ± 152 | 1068 ± 432 | 860 ± 353 |
| | 2 | 113 ± 133 | 804 ± 410 | 691 ± 333 |
| | 3 | 77 ± 92 | 667 ± 401 | 590 ± 345 |
| Xidecaflur _{Sojaöl} | 1 | 305 ± 267 | 601 ± 259 | 296 ± 152 |
| | 2 | 172 ± 183 | 411 ± 228 | 239 ± 151 |
| | 3 | 133 ± 143 | 285 ± 184 | 153 ± 136 |
| Olaflur _{Rind} | 1 | 351 ± 260 | 836 ± 273 | 485 ± 248 |
| | 2 | 250 ± 222 | 667 ± 272 | 417 ± 180 |
| | 3 | 219 ± 189 | 565 ± 260 | 347 ± 174 |
| Wasser | 1 | 284 ± 263 | 363 ± 272 | 79 ± 98 |
| | 2 | 198 ± 218 | 238 ± 208 | 41 ± 76 |
| | 3 | 159 ± 186 | 196 ± 159 | 37 ± 78 |

Es zeigte sich durch jede Fluoridlösung ein erhöhter F⁻-Gehalt in allen drei abgetragenen Schmelzschichten gegenüber den Ausgangsfluoridgehalten (Abb. 15). Die

Fluoridanreicherung bzw. Fluoridkonzentration im Schmelz war in der äußersten Schicht am höchsten und nahm bei allen Schmelzproben mit zunehmender Ätztiefe ab. Steraflur_{C18} führte in der ersten Biopsieschicht zu hoher Anreicherung und hatte den steilsten F⁻-Gradienten zur Folge. Mit abnehmender Fluorideinlagerung durch die Lösungen Olaflur_{Rind} > Xidecaflur_{Sojaöl} waren auch die F⁻-Gradienten schwächer ausgeprägt.

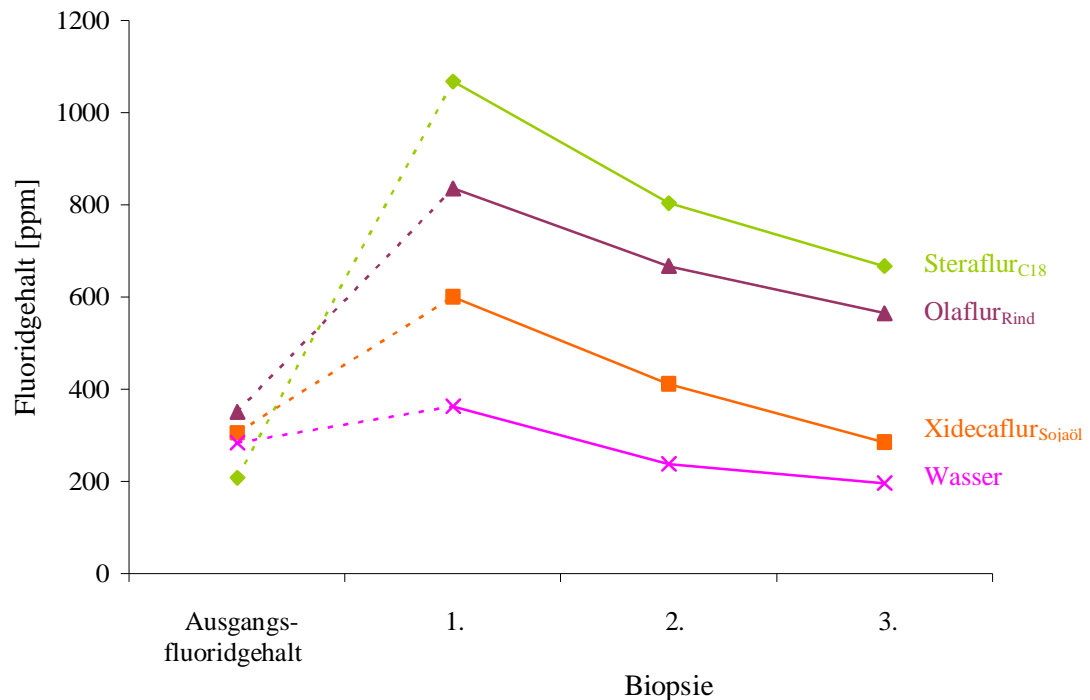


Abb. 15: Fluoridkonzentrationsprofil des Schmelzes nach Applikation von Steraflur_{C18}, Xidecaflur_{Sojaöl}, Olaflur_{Rind} und Wasser

Die Fluoridanreicherung im Zahnschmelz, die durch die Lösungen Steraflur_{C18}, Xidecaflur_{Sojaöl} und Olaflur_{Rind} in der vorhergehenden Untersuchung erzielt wurde, konnte hinsichtlich der Abstufung zwischen den Präparaten und ihrer Anreicherung reproduziert werden (Abb. 16). Nach statistischer Überprüfung unterschied sich auch in dieser Untersuchung die hohe Fluoridanreicherung in der ersten Biopsieschicht durch das synthetische Aminfluorid (Steraflur_{C18}) signifikant von den natürlichen Aminfluoriden Xidecaflur_{Sojaöl} ($p < 0,001$; Tab. 17) und Olaflur_{Rind} ($p = 0,001$; Tab. 17). Innerhalb der Gruppe der Aminfluoride aus Naturstoffen, in dieser Untersuchung repräsentiert durch Xidecaflur_{Sojaöl} und Olaflur_{Rind}, zeigten sich nach statistischer Überprüfung der ermittelten Fluoridakkumulationswerte der ersten Biopsieschicht

signifikante ($p = 0,009$; Tab. 17) Wirkungsdifferenzen im Gegensatz zur vorhergehenden Untersuchung (Tab. 17).

Tab. 17: Vergleich der Fluoridanreicherung im Zahnschmelz aus Steraflur_{C18}, Xidecaflur_{Sojaöl} und Olaflur_{Rind} in zwei unabhängigen Untersuchungen

| Fluoridlösung | Biopsie-schicht | Fluoridanreicherung [ppm F ⁻] | | | |
|------------------------------|-----------------|---|---------------|------------------------------------|---------------|
| | | 1. Untersuchung $\bar{x} \pm s$ | Signifikanzen | 2. Untersuchung $\bar{x} \pm s$ | Signifikanzen |
| Steraflur _{C18} | 1 | 760 ± 356 | s. | 860 ± 353 | s. |
| | 2 | 663 ± 418 | | 692 ± 333 | |
| Xidecaflur _{Sojaöl} | 1 | 340 ± 225 | n.s.! | 296 ± 152 | s. |
| | 2 | 421 ± 262 | | 239 ± 151 | |
| Olaflur _{Rind} | 1 | 379 ± 315 | s. | 484 ± 248 | s. |
| | 2 | 339 ± 319 | | 417 ± 180 | |

s. = signifikant

n.s. = nicht signifikant

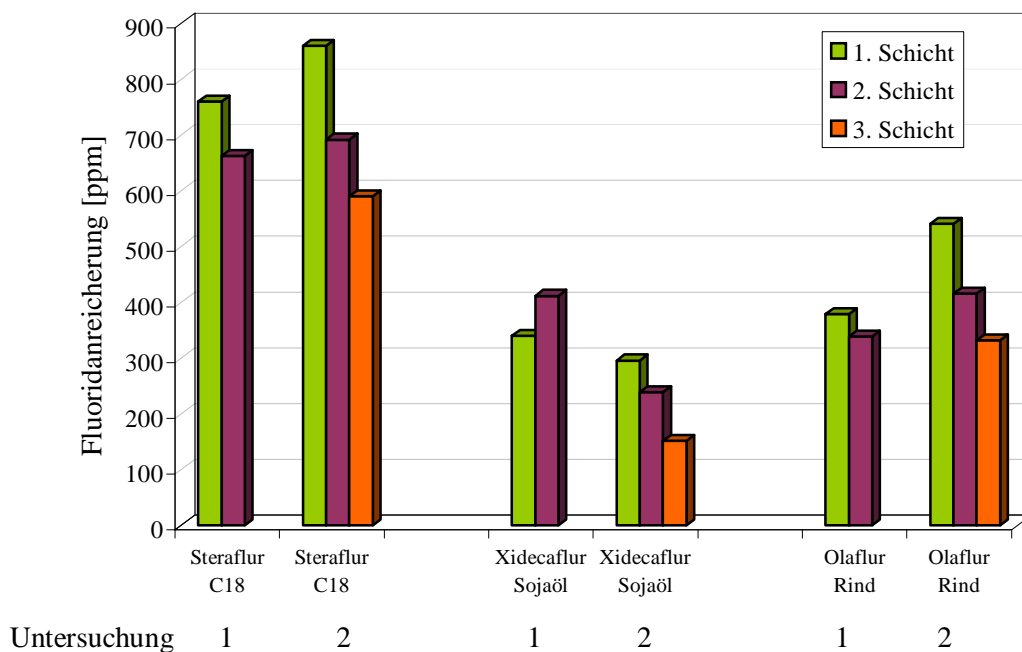


Abb. 16: Vergleich der Fluoridanreicherung im Zahnschmelz aus Steraflur_{C18}, Xidecaflur_{Sojaöl} und Olaflur_{Rind} in zwei unabhängigen Untersuchungen

6 Diskussion

Aus der Literatur ist hinreichend und Evidenz gestützt bekannt, dass der kariespräventive Effekt der Fluoride auf einer reduzierten Löslichkeit des Hydroxylapatits und der gesteigerten Remineralisationsgeschwindigkeit beruht (Ten Cate 2004).

Aus der Erkenntnis, dass die kariesprotektive Wirkung eines Fluoridpräparates auch mit der Fluoridakkumulation im Oberflächenschmelz korreliert (Gülzow et al. 1993, Schiffner 2001, Ten Cate 2003, Hellwig und Lennon 2004), wurde die Bestimmung des Fluoridgehaltes bzw. der Fluoridanreicherung zu einem bedeutenden Bestandteil in der experimentellen Kariesforschung (Gintner et al. 2000, Buchalla et al. 2002).

In-vitro-Untersuchungen zur Fluoridaufnahme des oberflächlichen Zahnschmelzes liefern wichtige Informationen zur vergleichenden Bewertung von fluoridhaltigen Kariespräventiva (Strübig und Gülzow 1986, Klimek et al. 1998, Inaba 2002). Dabei stellen die Bedingungen zur Simulierung des natürlichen Mundhöhlenmilieus nur eine Annäherung an die In-vivo-Verhältnisse dar. Das komplexe biologische System, welches den Zahn mit chemischen und physikalischen Vorgängen unmittelbar an der Schmelzoberfläche umgibt, bleibt unberücksichtigt.

Unter den definierten Bedingungen der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen war es möglich, lokale Applikationen von unterschiedlichen Fluoridlösungen in ihrer Wirkung auf den Zahnschmelz bzw. dessen Fluoridanreicherung vergleichend zu beurteilen.

Die Auswahl der Rinderzähne als Modell an Stelle des humanen Zahnschmelzes entsprach dem Vorgehen in anderen Studien (Klimek et al. 1982, Duschner und Uchtmann 1988, Attin et al. 1992, Hellwig et al. 1993), da einerseits damit eine leichtere Verfügbarkeit von großen Mengen des Untersuchungsmaterials gewährleistet war und andererseits der humane Zahnschmelz eine sehr ähnliche chemische und mikromorphologische Zusammensetzung aufweist. Laut den Untersuchungen von Esser et al. (1998) unterscheiden sich die Werte der chemischen Hauptbestandteile von Rinderschmelz mit Ca = 31,1 %; P = 15,5 % und Mg = 0,4 % nur geringfügig von denen des Humanschmelzes mit Ca = 37 %; P = 16,8 % und Mg = 0,2 % nach Retief et al. (1971). Für die Dichte des humanen Zahnschmelzes ermittelten Manley und Hodge

(1939) und Weidmann und Hamm (1967) einen Mittelwert von $2,95 \text{ g/cm}^3$. Esser et al. (1998) gaben für die Rinderschmelzdichte einen Wert mit $2,9 \text{ g/cm}^3$ an. Somit ist der Humanschmelz im Hinblick auf relevante Ergebnisse durch den Rinderschmelz substituierbar.

Die Auswahl der Biopsieareale wurde mit besonderer Sorgfalt unter mikroskopischer Kontrolle vorgenommen. Schmelzbereiche, die sichtbare Demineralisationen, Schmelzsprünge und Hypoplasien aufwiesen, wurden nicht in die Untersuchungen einbezogen, da diese im Vergleich zu gesundem Schmelz mehr Fluorid aufnehmen könnten (Klimek 1981). Gleichzeitig wurde die durch Reinigungsmaßnahmen erzielte Sauberkeit der Schmelzoberfläche überprüft. Plaque behindert die Fluoridaufnahme durch den Schmelz nicht (Klimek et al. 1982), bzw. wirkt sich nach Ten Cate (1997) der im Vergleich zum Speichel niedrige pH-Wert in der stoffwechselaktiven Plaque begünstigend auf die Fluoridablagerung im Schmelz aus. Unter In-vivo-Bedingungen reichert sich Fluorid jedoch in der Plaque an (Arends und Christoffersen 1990), sodass Beeinträchtigungen der Analysenwerte nicht auszuschließen wären.

Durch eine weitgehend gleiche topographische Anordnung der Biopsieflächen wurde berücksichtigt, dass der natürliche Fluoridgehalt in den oberflächlichen Schichten des Schmelzes starken Schwankungen unterworfen ist (Robinson et al. 2004). Es wurden in diesem Zusammenhang Werte zwischen 330 und 1000 ppm F⁻ publiziert (Strübig et al. 1978, Robinson et al. 1996, Zimmer 1996). Deutliche Unterschiede im Eigenfluoridgehalt können auch die Zähne verschiedener Individuen aufweisen. Der durchschnittliche Fluorid-Basiswert der Kontrollflächen in der 1. Biopsieschicht betrug in vorliegender Untersuchung, bei starker Streuung der Einzelwerte, 413,56 ppm F⁻. Ob die Streuungen der individuellen Basiswerte altersbedingt oder von der Qualität des Tierfutters verursacht wurden, kann nachträglich nicht beurteilt werden. Alle Zähne stammten aus einer Quelle. Da leider das genaue Alter (1,5-2 Jahre) der untersuchten Zähne nicht bekannt war, muss der Grad der Schmelzreifung im Untersuchungsgut als eine unbekannte Variable angesehen werden, welche die Streuung der natürlichen Schmelzfluoridkonzentration, sowie ein verändertes Fluoridaufnahmeverhalten bedingt. Um diesen Nachteil beim Vergleich der Messwerte auszuschließen, wurde für die Bestimmung der Fluoridanreicherung für jede Probe die Differenz der Fluoridkonzentrationen vor und nach Behandlung mit den Testlösungen ermittelt.

Inwieweit die Höhe der natürlichen bzw. initialen Schmelzfluoridkonzentration die Fluoridaufnahmefähigkeit des Schmelzes beeinflusst, wird in der Literatur unterschiedlich bewertet. Möller et al. (1965) berichteten, dass Zähne mit einer hohen initialen F^- -Konzentration mehr Fluorid aufnehmen, als Zähne mit niedrigem F^- -Ausgangswert. Dagegen teilten Nicholson und Mellberg (1969) in einer In-vitro-Studie mit, dass Zähne mit hohem F^- -Basisgehalt nur halb so viel Fluorid akkumulieren. Über diese Relation zwischen F^- -Aufnahme und -Ausgangswert berichteten ebenfalls Retief et al. (1983). In der vorliegenden Arbeit konnte kein Einfluss des Basisfluoridgehaltes auf die Fluorideinlagerung beobachtet werden (Tab. 9, Tab. 10). Im Vorversuch lagerten Zähne mit einem mittleren Basisfluoridgehalt von 56 ppm F^- bzw. 465 und 995 ppm F^- genauso viel Fluorid von 346 bis 394 ppm F^- ein (Tab. 9), wenn sie mit der Olaflur_{Rind}-Lösung der Fluoridkonzentration von 1500 ppm und dem pH-Wert von 4,3 behandelt wurden. Im Untersuchungsgut der gesamten Studie wiesen jedoch nur sehr wenige Zähne einen sehr hohen bzw. sehr niedrigen Ausgangsfluoridgehalt auf, sodass mit einem Einfluss nicht gerechnet werden muss.

Zur quantitativen Bestimmung von Fluorid in gesunden, homologen Zahnhartsubstanzen hat sich das von Venkateswarlu (1977) beschriebene Biopsieverfahren, das auf der Säurelöslichkeit des Zahnschmelzes beruht, bewährt (Strübig und Gülzow 1986, Gülzow et al. 1993).

In Voruntersuchungen wurde mit unterschiedlichen Einwirkzeiten der Perchlorsäure (3 μ l, 1 M) gearbeitet, um eine Sättigung des Perchlorsäuretropfens mit Kalzium, bei längeren Biopsiezeiten mit kleinem Volumen, auszuschließen (Tab. 12, Abb. 11). Die Versuche mit Einwirkzeiten von 5, 10 und 15 Sekunden zeigten eine kontinuierliche Auflösung des Schmelzes ohne Sättigung oder Resedimentation. Die Einwirkzeit der 3 μ l Perchlorsäure wurde für die vorliegende Untersuchung auf 10 Sekunden festgelegt. Die fluoridbedingte Reduktion der Löslichkeitsrate des Schmelzes nach Lokalapplikation von Fluoriden (Stößer und Schaper 1985) wurde durch die ermittelten Ätztiefen nach Behandlung mit Steraflur_{C18} und Wasser im Vorversuch nicht bestätigt (Tab. 11). Nach Duschner et al. (1984) bleibt die reduzierte Löslichkeit nur auf die äußere Schmelzschicht beschränkt und wird vor allem als Folge einer Kalziumfluoridanlagerung gesehen. Auf eine Standardisierung der Ätztiefen und Berechnung der entsprechenden F^- -Konzentration mittels Regressionsanalyse konnte verzichtet werden.

An der fluoridsensitiven Elektrode (Orion 96-09) in Verbindung mit einem pH/Ionmeter pMX 2000 wurden nach dem Verfahren der direkten Potentiometrie und Eichkurventechnik (Venkatesvarlu 1977) der Fluoridgehalt bestimmt.

Durch die Einführung der relativ störungsfreien Fluoridelektrode und der somit direkten Fluoridbestimmung können ohne großen Aufwand Fluoridionen über einen weiten Konzentrationsbereich bestimmt werden. Die Fluoridelektrode zeigt das Fluoridion selektiv in Gegenwart anderer an. Im Gegensatz zu anderen ionenselektiven Elektroden sind für die fluoridselektive Elektrode nur OH^- -Ionen als Störfaktoren beobachtet worden (Cammann 1977). Sowohl ein zu hoher als auch ein zu niedriger pH-Wert haben Einfluss auf fluoridbedingte Potentiale. Diese Schwierigkeiten sind jedoch leicht zu verhindern, wenn die Lösungen unter Verwendung eines entsprechenden Puffers bei pH-Werten zwischen 4,8-6,0 gemessen werden (Werneburg 1981). Der verwendete Natriumazetatpuffer (1 M) hat einen optimalen pH-Wert von 5,5 und stellt die Proben (pH 3,0 - 7,0) und Standards auf den optimalen Meß-pH-Wert ein.

Die geringen Unterschiede im Fluoridgehalt der mit Wasser behandelten Schmelzkontrollproben sprechen für die Genauigkeit des gewählten Verfahrens und der Auswertungsmethode (Tab. 15, 16). Andere moderne Methoden zur quantitativen Fluoridbestimmung in den Zahnhartsubstanzen wie Protonensonde (Shu et al. 1998), Elektronenstrahl-Mikroanalyse (Gabriel et al. 1985) oder Sekundärionenmassenspektroskopie (Lodding 1997) erlauben zwar ebenfalls eine sehr exakte Bestimmung der Fluoridkonzentration, sind jedoch um ein Vielfaches teurer und kompliziert durchzuführen.

Durch lokale Applikation von ionisch gebundenen Fluoriden (Natriumfluorid, Aminfluorid) kommt es zur Reaktion mit der Schmelzoberfläche. In Abhängigkeit von der Fluoridkonzentration, dem pH-Wert, der Kontaktzeit und anderen Parametern wird dabei ein kalziumfluoridähnliches Präzipitat ausgebildet (Duschner 1987, Saxegaard und Rølla 1988a und b, Arends und Christoffersen 1990, Schiffner 2001, Ten Cate 2003). Dabei entsteht nach Anwendung von Natriumfluorid ein schlecht mit der Zahnoberfläche verbundenes CaF_2 , während nach Applikation von Aminfluoriden eine deutlich ausgeprägtere und stabilere CaF_2 -Schicht gebildet wird (Mühlemann 1983). Bereits ab einer Konzentration von 10 ppm Fluorid entsteht dieses Präzipitat (Arends und Christoffersen 1990, Ten Cate 2003). Eingelagerte Phosphat- und Proteinbestandteile beeinflussen das Löslichkeitsverhalten des Kalziumfluorids in der

Mundhöhle (Rølla und Saxegaard 1990). Bei neutralem pH-Wert wird ein CaF_2 mit relativ hohem Phosphatanteil gebildet, was leichter löslich ist als chemisch reines CaF_2 und auch löslicher als bei niedrigem pH gebildetes CaF_2 , welches weniger Phosphat enthält (Lagerlöf et al. 1988). Bei sauren pH-Werten (unterhalb 5,5) wird dagegen die Schmelzoberfläche leicht angelöst und bei gleichzeitiger Anwesenheit einer ausreichenden Fluoridkonzentration in der Grenzschicht wird sofort schwerlösliches Kalziumfluorid ausgefällt, das sich als festhaftende homogene Schicht niederschlägt (Duschner 1987). Demzufolge ist es durch einfache pH-Manipulationen möglich, die Löslichkeit des CaF_2 zu beeinflussen und so die Bildung eines „optimalen“ CaF_2 zu induzieren (Rølla et al. 1993). Koch et al. (1982) zeigten, dass saure Zahnpasten mit einem pH-Wert von 5,5 und einem F-Gehalt von 250 ppm einen gleich guten klinischen Effekt hatten wie neutrale Zahnpasten mit 1000 ppm Fluorid. Die CaF_2 -Bildung auf gesundem Schmelz nach Anwendung von neutralen F-haltigen Spüllösungen ist dagegen sehr gering (Bruun und Givskov 1991, Harding et al. 1994). Die pH-Werte lagen bei den in der vorgelegten Arbeit verwendeten Aminfluoridlösungen zwischen 4,0 und 4,3 (Tab. 1), was die Bildung einer stabilen CaF_2 -Schicht erwarten lässt. Nach der Applikation der NaF-Lösungen mit pH-Werten zwischen 3,0 und 7,0 (Tab. 1) ist die Bildung eines abnehmend fest gebundenen Kalziumfluorids zu erwarten. Neben dieser Reaktion diffundieren Fluoridionen auch in den Zahnschmelz und liegen dort entweder frei in Lösung oder an Schmelzkristalle unspezifisch oder spezifisch absorbiert vor (Hellwig 1996, Ten Cate 2003). Ein direkter Vergleich der Ergebnisse kann somit nur unter Einschränkungen erfolgen, da es sich bei der Anreicherung um ein multikausales Geschehen handelt und die gemessenen Fluoridmengen in unterschiedlicher Form vorlagen. Die vorliegenden Resultate zum Wirkungsvergleich der verschiedenen Lösungen zeigten, dass durch die Präparate unterschiedliche Fluoridanreicherungen erzielt wurden. Dabei konnten durch die NaF-Lösungen Werte bis zu 692 ppm F⁻ im Schmelz nach $\text{NaF}_{\text{pH } 3}$ -Applikation ermittelt werden, während die Werte für die anderen NaF-Lösungen deutlich abgesetzt waren (Tab. 13). Die höchste F⁻-Einlagerung von 860 ppm F⁻ wurde durch die Aminfluoridlösung Steraflur_{C18} ermittelt (Tab. 16, 17). Verschiedene Studien, in denen die adsorbierte CaF_2 -Schicht mit KOH abgelöst und bestimmt wurde (Attin et al. 1995, 1997, Van Strijp et al. 1999), führten bei den Natrium- und Aminfluoriden z. T. zu sehr unterschiedlichen Aussagen. Während De Bruyn und Ahrens (1985) bei einem Natriumfluoridlack unabhängig von dessen Konzentration stets 50% adsorbiertes und

50% in das Kristallgitter eingebautes Fluorid fanden, berichtete Kagerbauer (1989) bei Verwendung des gleichen Lackes über ein Verhältnis von 80 : 20. Van Strijp et al. (1999) fanden bei der Applikation von NaF/Aminfluorid-haltigen Spüllösungen nur ca. 10% adsorbiertes Fluorid im Schmelz. Das adsorbierte Reaktionsprodukt nach Einwirkung von Aminfluoriden ist nicht nur reines CaF_2 , sondern ein kompliziertes, im einzelnen nicht chemisch bekanntes Gemisch von CaF_2 , Kalziumphosphaten und Speichelproteinen, das sich auch mikromorphologisch eindeutig von dem nach NaF-Anwendung schwach gebundenem CaF_2 -Präzipitat unterscheidet (Mühlemann 1983). In vorliegender Arbeit wurde, wie in einigen anderen Studien (Strübig und Gülzow 1986, Gülzow et al. 1993, Arends et al. 1994, Burk et al. 1997), auf die Bestimmung der in Kalilauge löslichen, an der Zahnoberfläche adsorbierten CaF_2 -Schicht und die Unterscheidung vom kovalent gebundenen Fluorid verzichtet.

Die Schmelzproben wurden nach der Fluoridexposition 24 Stunden gewässert, um einen beträchtlichen Teil des nur labil auf der Schmelzoberfläche absorbierten Fluorids zu lösen und die ermittelten F-Konzentrationswerte die Reaktion der Präparate mit dem Schmelz widerspiegeln sollten. Da bei längerem Wässern bis zu einer Woche nur noch ein unwesentlicher Fluoridverlust stattfindet, kann eine permanentere Bindung des eingelagerten Fluorids angenommen werden (Barbakow et al. 1984). Wird nicht oder nur kurz gewässert, werden die gemessenen Fluoridkonzentrationen hauptsächlich von der CaF_2 -Deckschicht und verbliebenen Resten des Fluoridpräparates bestimmt. Einige Autoren (Strübig 1980, Baijot-Stroobants und Vreven 1980) konnten zeigen, dass bei 24 stündiger Wässerung ein beträchtlicher Teil des zuvor aus verschiedenen Verbindungen (NaF, Fluorsilikat, MFP) eingelagerten Fluorids verloren geht, während nach Aminfluoridexposition der Schmelzproben ein signifikanter F-Verlust erst nach einer Woche, bzw. nach Wochen auftrat (Mühlemann 1983). Entsprechend Hinweisen von Kirkegaard (1977) könnten hohe primäre Fluoridkonzentrationen dazu beitragen, dass Fluoridionen auch verstärkt in tiefere und damit einer Auswaschung unzulänglichere Schmelzschichten eindringen, was in vorliegender Untersuchung mit einer Fluoridkonzentration von 1500 ppm der F⁻-Lösungen zu erwarten war. Strübig und Gülzow (1986) fanden in ihrer Studie eine rasche Reduktion des Fluoridgehaltes im Schmelz um durchschnittlich 56% nach Spülen mit Speichellersatzlösung schon innerhalb von 24 Stunden.

Sie zeigten damit, dass nach einmaliger kurzer (3 Minuten) Anwendung der Fluoridgelees zunächst leicht entfernbare Fluoridauflagerungen gebildet wurden. In den vorliegenden Studien betrug die Applikationszeit der Fluoridlösungen 10 Minuten.

Eine weitere mögliche Reaktion stellt die initiale Auflösung des oberflächlichen Schmelzes und die Repräzipitation von fluoridiertem Hydroxylapatit bzw. Fluorapatit dar (Hellwig 1996). Ten Cate (1979) berechnete Löslichkeits-Isothermen für die wichtigsten Kalziumphosphat-Phasen des Schmelzes und zeigte, dass Hydroxylapatit ab dem kritischen pH-Wert von 5,5 in Lösung geht. Fluorapatit hingegen bleibt auch noch bei niedrigeren pH-Werten stabil, seine Auflösung beginnt bei einem pH-Wert von 4,6. In der vorliegenden Untersuchung wurden NaF-Lösungen mit den pH-Werten 3,0, 4,0, 5,0 und 7,0 und AmF-Lösungen mit pH-Werten zwischen 4,0 und 4,3 verwendet (Tab. 1). Somit liegen die Testlösungen, mit Ausnahme der neutralen NaF-Lösung und der NaF-Lösung pH 5,0 in einem Bereich, in dem ein Maximum an Fluoridanreicherung in den Zahnhartsubstanzen zu erwarten ist. Dabei kann die Verursachung erosiver Auflösung der Schmelzoberfläche nicht ausgeschlossen werden.

Kidd und Joyston-Bechal (1980) untersuchten die Auswirkung angesäuerter Fluoridzubereitungen auf die Bildung kariöser Läsionen. Dabei wurde in Anwesenheit von Fluorid (10 ppm) die Kariesentstehung in vitro bei pH 4,0 nicht und bei pH 4,5 fast vollständig gehemmt. Somit kann die Wasserstoffionenkonzentration nicht beliebig gesenkt werden, um maximal mögliche Fluoridansammlungen auf und im oberflächlichen Zahnschmelz zu erreichen.

Bei der Einlagerung von Fluorid in die Zahnhartsubstanzen spielen die chemische Struktur, die Konzentration der Lösung, die Einwirkdauer und vor allem der pH-Wert eine wichtige Rolle (Duschner 1987). Die Konzentrationen aller fluoridhaltigen Lösungen unterschieden sich in der vorliegenden Studie nicht und lagen jeweils bei 1500 ppm F⁻. Durch die untersuchten Natriumfluoridlösungen wurde die höchste Fluoridakkumulation von 692 ppm F⁻ in der 1. Biopsieschicht nach dem sauersten Präparat (pH= 3,0) erreicht, gefolgt von NaF_{pH 4} (423 ppm F⁻) > NaF_{pH 5} (183 ppm F⁻) > NaF_{pH 7} (152 ppm F⁻) (Tab. 13). Die Darstellung der Fluoridanreicherungsprofile (Abb. 12) lässt diese pH-Abhängigkeit auch in tieferen Schmelzschichten erkennen und zeigt mit neutralerem pH-Wert einen flacheren Anstieg des Gradienten. Die in der vorliegenden Arbeit festgestellte pH-Abhängigkeit der Fluorideinlagerung wird von zahlreichen anderen Autoren bestätigt. Bereits Bibby (1947) berichtete, dass eine

Erniedrigung des pH-Wertes in den Fluoridlösungen zu einer gesteigerten F^- -Aufnahme in den äußersten Schmelzschichten führte. Brudevold et al. (1963) untersuchten den Einfluss von sauren Natriumphosphatlösungen auf die F^- -Aufnahme des Schmelzes und stellten eine direkte Proportionalität zwischen der Azidität der F^- -Lösungen und der Penetrationsfähigkeit von F^- -Ionen in den Schmelz fest. Die erhöhte Penetration in den Schmelz und die erhöhte F^- -Aufnahme wird darauf zurückgeführt, dass bei einem pH-Wert von 3,0 über 50% des Fluorids in Form undissoziierter Flußsäure vorliegt. Diese diffundiert schneller und tiefer als die polarisierten F^- - und HF_2^- -Ionen (Nikiforuk 1985). Als Ableitung aus diesen Untersuchungen befindet sich auf dem amerikanischen Markt ein angesäuertes anorganisches Fluorid enthaltendes Gel (= APF = acidulated phosphate fluoride) in der praktischen Anwendung zur Lokalapplikation. Auch Strübig und Gülzow (1986) konnten in einer In-vitro-Studie mit neun Geleeszubereitungen mit Aminfluorid in unterschiedlicher Konzentration (0,15%-1,25%) sowie mit verschiedenen pH-Werten (4,49-6,20) nachweisen, dass die Fluoridanreicherung des Schmelzes weniger von der Fluoridkonzentration, als vor allem vom pH-Wert beeinflusst wird.

Während sich das Natriumion im Reaktionsablauf neutral verhält, soll das Kation bei den Aminfluoriden eine Anreicherung von Fluorid in unmittelbarer Nähe zum Zahnschmelz und eine im Vergleich zu Natriumfluorid günstigere Sättigungskinetik bewirken (Henschler 1983), was eine erhöhte Einbaurate von Fluorid und die Bildung des Kalziumfluoridreservoirs begünstigen soll (Schmid 1983). Hierfür wird von einigen anderen Autoren (Duschner und Uchtmann 1985, 1988, Strübig und Gülzow 1986) aber auch der saurere pH-Wert der Aminfluoride verantwortlich gemacht.

In der vorliegenden Untersuchung wurde eine NaF-Lösung in Fluoridkonzentration (1500 ppm F^-), pH-Wert (4,3) und Ionenhintergrund ($\beta=4,5$) einer AmF-Lösung (Olaflur_{Rind}) angepasst (Tab. 4). Die NaF-Lösung führte mit einer Fluoridanreicherung von 251 ppm F^- in der 1. Biopsieschicht zu einer signifikant niedrigeren Anreicherung, als die AmF-Lösung mit 531 ppm F^- (Tab. 14). Damit hatte die NaF-Lösung eine 47%ige Wirkungseffizienz der AmF-Lösung erreicht. Barbakow et al. (1982) und Klimek et al. (1998) fanden eine 28% bzw. 30% höhere Fluorideinlagerung von AmF im Vergleich zu NaF. Eine weitere Untersuchung Barbakows et al. (1988) mit einer Natriumfluorid- und Aminfluoridpaste gleicher F^- -Konzentration von 250 ppm F^- und identischen pH-Werten konnte für die Aminfluoridgruppe eine signifikante Erhöhung

der Fluoridkonzentration nach einer Woche zeigen, für die Natriumfluoridgruppe erst nach 10 Wochen. Ein ganz anderes Ergebnis zeigte sich in einem In-vitro-Versuch von Burk et al. (1997), die nach Verwendung zwölf verschiedener Zahnpasten den höchsten Fluoridgehalt nach Verwendung einer NaF-haltigen Zahnpasta bestimmten. Die niedrigste Fluoridaufnahme wurde nach Einsatz einer AmF-haltigen Zahnpasta registriert, wobei die Autoren als mögliche Ursache eine Modifikation in der Zusammensetzung der AmF-Zahnpasta nennen. Caslavská et al. (1971) zeigten in ihrer Untersuchung eine Überlegenheit des Aminfluorids gegenüber Natriumfluorid bezüglich der Fluoridanreicherung bei niedrigem pH-Wert, bei neutralem bzw. alkalischen pH-Wert jedoch nicht mehr.

Die bessere Einlagerung des Aminfluorids ist wahrscheinlich auf den kationischen Aminteil zurückzuführen (Mühlemann 1983, Schmid 1983) und unterstützt die Fluoridwirkung aufgrund seiner starken Oberflächenaktivität. Die tensidartigen Moleküle reichern sich gezielt an der Schmelzoberfläche an und bilden dort monomolekulare Schichten (De Jong 1984). Jedoch konnten fluoridierte Aminosäuren mit 3 bis 5 Kohlenstoffatomen keine größere Herabsetzung der Säurelöslichkeit bewirken, als anorganische Fluoride, wie Natriumfluorid oder Zinnfluorid (Mühlemann et al. 1960). Die beste Schmelzlöslichkeitshemmung wurde mit Fluoriden von Mono- und Diaminen der Kohlenwasserstoffe mit 14-18 C-Atomen erreicht (Mühlemann et al. 1960). In der vorliegenden Arbeit wurden die höchsten Fluoridakkumulationswerte für die synthetisch hergestellten Monoamin-Monohydrofluoride mit 14, 16 und 18 C-Atomen enthaltenden aliphatischen Kettenlängen ermittelt (Tab. 15, Abb. 14). Steraflur_{C18} hatte mit 760 ppm F⁻-Einlagerung in der ersten Biopsieschicht den höchsten Fluorideinbau bewirkt. Es folgten Cetaflur_{C16} mit 553 ppm F⁻ und Myraflur_{C14} mit 298 ppm F⁻. Diese Ergebnisse zeigten, dass unterschiedliche Fluorideinlagerungen mit den getesteten Präparaten erreichbar waren, obwohl ihre pH-Werte (4,3), Fluoridkonzentrationen (1500 ppm F⁻) und Einwirkzeiten (10 min F⁻-Lösung, 24 h Wässerung) übereinstimmten. Die AmF-Lösungen erhöhten den Fluoridgehalt im Zahnschmelz signifikant zur steigenden Kettenlänge des organischen Restes in der Folge Myraflur_{C14} < Cetaflur_{C16} < Steraflur_{C18}. Trotzdem unterschieden sich die Ergebnisse untereinander nach gemeinsamer statistischer Betrachtung nicht signifikant. Die vorliegenden Resultate zum Wirkungsvergleich der Aminfluoride mit natürlich vorkommender organischer Komponente aus Fettsäuregemischen von Sojaöl, Rapsöl

und Rindertalg zeigten, dass die Fluoridanreicherungen sich nicht unterschieden. Durch die Präparate Xidecaflur_{Sojaöl}, Olaflur_{Rind} und Olaflur_{Rapsöl} wurden Fluoridanreicherungen zwischen 340 ppm F⁻ und 434 ppm F⁻ in der ersten Biopsieschicht ermittelt (Tab. 15, Abb. 14). Dabei zeigte das Monoamin-Monohydrofluorid Xidecaflur_{Sojaöl} den niedrigsten, aber statistisch nicht unterscheidbaren F⁻-Akkumulationswert gegenüber den Diamin-Dihydrofluoriden Olaflur_{Rind} und Olaflur_{Rapsöl}. Der Vergleich mit den Werten der synthetischen und natürlichen Aminfluoride, repräsentiert durch den Paarvergleich Steraflur_{C18} und Olaflur_{Rapsöl}, zeigte, dass durch die synthetischen Aminfluoride signifikant mehr Fluorid in den Schmelz eingelagert wurde (Tab. 15). Ursächlich scheint hier der Einfluss der chemischen Zusammensetzung am organischen Rest der Aminfluoride zu sein, auf den auch schon Mühlemann et al. (1960) hinwiesen. Aminfluoride deren synthetisch hergestellte organische Komponente aus reinen langkettigen Fettsäureresten (C14-C18) besteht, führten zu einer höheren Fluoridbeladung am und im Oberflächenschmelz als Aminfluoridverbindungen aus Naturstoffen, die aus Fettsäuregemischen unbekannter Kettenlänge bestehen. Rapsöl und Sojaöl setzen sich aus unterschiedlichen Massenanteilen von Palmitinsäure (C16, gesättigte Fettsäure), Öl-, Linol- und Linolensäure (jeweils C18, ungesättigte Fettsäuren) zusammen. Rindertalg ist ein Fettsäuregemisch aus Öl-, Palmitin-, Stearin-, Palmitolein-, Linol- und Myristinsäure (Amann et al. 1989).

Mit einer durchschnittlichen Fluorideinlagerung von 250 ppm F⁻ (Tab. 15) zeigte NaF einen weniger deutlichen Fluoridierungseffekt, der die Werte durch die natürlichen und synthetischen Aminfluoride nicht erreicht. Signifikant mehr Fluorid wurde jedoch nur durch die synthetischen Aminfluoride eingelagert. Es erscheint nahe liegend, dass die erreichte Schmelzfluoridierung durch die NaF-Lösung aufgrund der Ansäuerung des Präparates (pH = 4,3) oder der großen Streuung der Einzelwerte nicht signifikant von den Werten der natürlichen Aminfluoride abgrenzbar war.

Die Fluoridanreicherung im Schmelz durch die in dieser Arbeit untersuchten Fluoridlösungen erfolgte nicht nur an der Oberfläche, sondern auch in der Tiefe und repräsentierte dabei die F⁻-Akkumulation an der äußersten Oberflächenschicht, sodass in dieser Untersuchung auf den Nachweis der Fluoridanreicherung in der 3. Biopsieschicht verzichtet wurde. Die Fluoridakkumulation durch die AmF-Lösungen und die NaF-Lösung reproduzierte der typische Verlauf des F⁻-Gradienten, wobei

Myraflur_{C14} und Xidecaflur_{Sojaöl} eine besonders ausgeprägte Tiefenwirkung zeigten (Tab. 15, Abb. 14).

Die unterschiedlichen Fluoridierungseffekte durch eine synthetische, eine pflanzliche und eine AmF-Verbindung mit tierischer Herkunft der organischen Komponente wurden wiederholt untersucht. Bei den ausgewählten Präparaten handelte es sich um Steraflur_{C18}, Xidecaflur_{Sojaöl} und Olaflur_{Rind}. Die ermittelten Fluoridanreicherungen in der vorherigen Untersuchung konnten bezüglich der Fluoridierungseffekte zwischen den Präparaten reproduziert werden (Steraflur_{C18} > Olaflur_{Rind} > Xidecaflur_{Sojaöl}). Der höchste Fluorideinbau in der 1. Biopsieschicht wurde durch Steraflur_{C18} mit 860 ppm F⁻ erreicht (Tab. 16, 17). Die Wirkungsdifferenzen gegenüber Olaflur_{Rind} (484 ppm F⁻) und Xidecaflur_{Sojaöl} (296 ppm F⁻) waren wiederholt signifikant zu unterscheiden (Tab. 17). Die Fluorideinlagerung durch Xidecaflur_{Sojaöl} konnte im Gegensatz zur vorhergehenden Untersuchung auch signifikant von der Fluoridakkumulation durch Olaflur_{Rind} unterschieden werden (Tab. 17). Die Fluoridkonzentrationen im Schmelz nahmen in den 3 untersuchten Biopsieschichten entsprechend einem Gradienten ab (Tab. 16, Abb. 15), der den typischen Verlauf nach Weatherell et al. (1977) und Ahrens et al. (1983) zeigte.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die in dieser In-vitro-Studie verwendeten Fluoridlösungen unterschiedliche Fluoridanreicherungen im Oberflächenschmelz erzielten. Bei den untersuchten Natriumfluoridlösungen war eine Steigerung des Fluoridierungseffektes durch Absenken des pH-Wertes möglich. Die NaF-Lösung mit pH 4,0 lagerte aber immer noch weniger Fluorid ein, als die verglichene AmF-Lösung Olaflur_{Rind} (pH 4,3). Eine pH-Wert-Absenkung kann eine Optimierung der kariesprophylaktischen Wirkung eines natriumfluoridhaltigen Präparates bewirken. Dies könnte von besonderer Bedeutung für die niedrig dosierten Kinderzahnpasten sein, um durch diese Maßnahme die kariostatische Wirksamkeit zu erhöhen (Koch 2003).

Auch nach Angleichung der Fluoridkonzentration, des pH-Wertes und des Ionenhintergrundes einer NaF-Lösung an eine AmF-Lösung (Olaflur_{Rind}) war der Fluoridierungseffekt der AmF-Lösung gegenüber dem der NaF-Lösung signifikant erhöht. Aminfluoride sind hinsichtlich ihrer fluoridierenden Wirkung höher einzuschätzen als Natriumfluoride. Diese Erkenntnis steht im Einklang mit den Aussagen anderer Autoren (Schmid 1983, Barbakow et al. 1988, Gülzow und Köhler 1998, Gülzow et al. 1993, Gintner et al. 2000).

Die synthetisch hergestellten Aminfluoride oder Aminfluoride aus Naturstoffen erhöhten den Schmelzfluoridgehalt signifikant in der Folge $AmF_{\text{synthetisch}} > AmF_{\text{tierisch}} > AmF_{\text{pflanzlich}}$. Die synthetischen Aminfluoride zeigten das höchste Fluoridierungspotential, wobei ein direkter Zusammenhang zwischen aliphatischer Kettenlänge des organischen Restes und Fluorideinlagerung zu erkennen war. Die F-Akkumulationen durch die synthetischen Aminfluoride waren signifikant vom Fluorideinbau durch Natriumfluorid zu unterscheiden. Ein Ersatz des bovinen Grundstoffes des handelsüblichen Olaflur_{Rind} scheint möglich. Eine Substitution durch synthetische Aminfluoride höherer Kettenlänge (C18) kann, nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, zu einer Erhöhung des Fluoridierungseffektes und damit möglicherweise zur Verbesserung der kariespräventiven Eigenschaften aminfluoridhaltiger Produkte führen.

Diese In-vitro-Untersuchung ermöglicht eine weitgehende Differenzierung der Schmelzfluoridierung durch die einzelnen Präparate. Es zeichnet sich die schon oft beschriebene Überlegenheit der Aminfluoride gegenüber Natriumfluorid, hinsichtlich des Fluoridierungseffektes, ab (Duschner und Uchtmann 1988, Wiedemann und Klinger 1994, Zimmer et al. 1994). Aussagen über in vivo ablaufende F-Akkumulationsvorgänge und die Höhe der F-Konzentrationen im Schmelz können aufgrund wesentlich verschiedener Wirkbedingungen nicht abgeleitet werden (Faller et al. 1991, Akyüz und Mentis 1992). Deshalb sollte erst nach weiterführenden In-vivo-Untersuchungen und klinischen Studien die kariesprotektive Effektivität der Fluoridverbindungen bewertet werden.

7 Schlussfolgerungen

Unabhängig von der Art der Fluoridverbindung bewirkten alle untersuchten Fluoridpräparate mit der Fluoridkonzentration von 1500 ppm F⁻ eine signifikante F-Anreicherung in der oberflächlichsten Schmelzschicht auf das 3 – 5 – fache des Basisfluoridgehaltes am Rinderzahnschmelz als Modell des Zahnhartgewebes.

Die Fluoridakkumulation in den Zahnschmelz aus Natriumfluoridlösungen ist pH-Wert-abhängig. Die Fluorideinlagerung verhält sich umgekehrt proportional zum pH-Wert. Von den untersuchten NaF-Lösungen mit den pH-Werten 3,0; 4,0; 5,0 und 7,0 lagerte das sauerste Präparat die höchste Menge Fluorid ein. Die neutrale NaF-Lösung erreichte nur 20% der Fluoridierungswirkung der sauren NaF-Lösung. Die Natriumfluoridlösung mit dem pH-Wert 4,0 erzielte aber eine geringere Fluoridanreicherung, als die verglichene Aminfluoridlösung Olaflur_{Rind} mit dem pH-Wert 4,3.

Nach Angleichung der NaF-Lösung in pH-Wert (4,3), F-Konzentration (1500 ppm F⁻) und Ionenhintergrund (Säurezahl $\beta = 4,5$) an das handelsübliche Olaflur_{Rind}, konnte die Wirkungseffizienz der AmF-Verbindung nicht erreicht werden.

Die Fluoridanreicherung durch verschiedene Aminfluoridverbindungen mit synthetischer, pflanzlicher und tierischer Herkunft der organischen Komponente zeigte folgende abnehmende Rangfolge: AmF_{synthetisch} > AmF_{tierisch} > AmF_{pflanzlich}. Das höchste Fluoridierungspotential zeigten die synthetischen Aminfluoride in Abhängigkeit der aliphatischen Kettenlänge in der Folge: Steraflur_{C18} > Cetaflur_{C16} > Myraflur_{C14}. Der Fluorideinbau durch angesäuertes Natriumfluorid war signifikant niedriger als die Fluorideinlagerung durch die synthetischen Aminfluoride.

Natriumfluorid ist hinsichtlich der Fluoridakkumulation in und am Oberflächenschmelz den Aminfluoriden unterlegen. Absenkungen des pH-Wertes führen zu einer erhöhten Schmelzfluoridierung, sodass durch pH-Manipulationen die kariesprophylaktische Wirksamkeit von NaF-Präparaten optimiert werden kann.

Der bovine Grundstoff des handelsüblichen Olaflur kann durch synthetische AmF-Verbindungen höherer aliphatischer Kettenlänge (C18) des organischen Restes substituiert werden.

8 Literaturverzeichnis

- Afflitto J, Schmid R, Esposito A, Toddywala R, Gaffar A. 1992. Fluoride availability in human saliva after dentifrice use: Correlation with anti-caries effects in rats. *J Dent Res* 71: 841-845
- Ahrens G, Klimek J, Hellwig E. 1983. Neue Gesichtspunkte zur Beurteilung der lokalen Fluoridapplikation. *Dtsch Zahnärztl Z* 38: 576-579
- Akyüz S, Montes AR. 1992. Fluorid und Kalziumgehalt im Speichel nach lokaler Fluoridierung. *Oralprophylaxe* 14: 97-102
- Amann W, Eisner W, Gietz P, Maier J, Schierle W, Stein R, Hrsg. 1989. *Elemente Chemie II*. Stuttgart: Klett-Verlag
- Arends J, Christoffersen J, Christoffersen MR, Schuthof J. 1983. Influence of fluoride concentration on the progress of demineralization in bovine enamel at pH 4,5. *Caries Res* 17: 455-462
- Arends J, Gelhard T. 1983. In-vivo-Remineralisation menschlichen Schmelzes. *Oralprophylaxe* 5: 21-25
- Arends J, Christoffersen J. 1986. The nature of early caries lesions in enamel. *J Dent Res* 65: 1-11
- Arends J, Jongebloed W, Øgaard B, Rølla G. 1987. SEM and microradiographic Investigation of initial enamel caries. *Scand J Dent Res* 95: 193-201
- Arends J, Christoffersen J. 1990. Nature and role of loosely bound fluoride in dental caries. *J Dent Res* 69, Spec. Iss: 601-605
- Arends J, Ruben J, de Vries J, van der Kuijl M, Huizinga ED, Zuidgeest TGM, Dijkman GEHM, Dijkman AG. 1994. Eine In-situ-Studie zur Aufnahme und zum Verteilungsmuster des Fluorids aus einer Natriumfluorid- und einer aminfluoridhaltigen Zahnpasta. *Quintessenz* 45: 1655-1665
- Attin T, Hellwig E, Klimek J. 1992. Der Einfluss einer niedrig dosierten Fluoriddauerapplikation auf initiale Kariesläsionen. *Dtsch Zahnärztl Z* 47: 770-773
- Attin T, Hartmann O, Hilgers RD, Hellwig E. 1995. Fluoride retention of incipient enamel lesions after treatment with a calcium fluoride varnish in vivo. *Arch Oral Biol* 40: 169-173
- Attin T, Kielbassa AM, Schwanenberg M, Hellwig E. 1997. Effect of fluoride treatment on remineralization of bleached enamel. *J Oral Rehabil* 24: 282-285
- Axelsson P. 1999. Other caries-preventive factors. In: Axelsson P, ed: *An Introduction to Risk Prediction and Preventive Dentistry*. Chicago: Quintessence, Vol. 1: 77-103
- Backer-Dircks O. 1966. Post-eruptive changes in dental enamel. *J Dent Res* 45: 503-511

- Baijot-Stroobants J, Vreven J. 1980. In vivo uptake of topically applied fluoride by human dental enamel. *Arch Oral Biol* 25: 617-621
- Bánóczy J, Nemes J. 1991. Effect of amine fluoride (AmF)/stannous fluoride (SnF₂) toothpaste and mouthwashes on dental plaque accumulation, gingivitis and root-surface caries. *Proc Finn Dent Soc* 87: 555-563
- Barbakow F, Cornec C, Rozenzweig J, Vadot J. 1982. Absorption de fluor par l'émail humain, in vitro, après brossage avec un dentifrice contenant fluorures organiques ou inorganiques. *Int Dent J* 64 (14): 1367-1373
- Barbakow F, Sener B, Imfeld T. 1984. In vitro fluoride uptake by human enamel after brushing with an amine fluoride gel and subsequent loss of by water-washing. *Helv Odont Acta* 28: 1275-1283
- Barbakow F, Sener B, Imfeld T, Saltini C. 1988. In vitro enamel fluoride retention after brushing with dentifrices containing 0,0250% F⁻. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 98: 126-133
- Bibby BG. 1945. A test of the effect of fluoride-containing dentifrices on dental caries. *J Dent Res* 24: 297-302
- Bibby BG. 1947. Use of fluoride in prevention of dental caries. *J Am Dent Assoc* 34: 26-32
- Bößmann K. 1985. Wirkstoffe in Zahnpasten. *Oralprophylaxe* 7: 138-144
- Bößmann K. 1988. Plaque und Plaquekontrolle. *Oralprophylaxe* 10: 18-27
- Borutta A. 1992. Plaque-Ursache von Karies und marginalen Parodontopathien. *Oralprophylaxe* 14: 125-131
- Borsboom PC, vd Mei HC, Arends J. 1985. Enamel lesion formation with and without 0,12 ppm F in solution. *Caries Res* 19 (5): 346-402
- Bortz J, Hrsg. 1985. *Lehrbuch der Statistik für Sozialwissenschaftler*. Zweite Aufl. Berlin: Springer-Verlag
- Bramstedt F, Bandilla J. 1966. Über den Einfluß organischer Fluoridverbindungen auf Säurebildung und Polysaccharidsynthese von Plaquestreptokokken. *Dtsch Zahnärztl Z* 21: 1390-1405
- Brudevold F, Savory A, Gardner DE, Spinelli M, Speirs R. 1963. A study of acidulated fluoride solutions – 1. In vitro effects on enamel. *Arch Oral Biol* 8:167-177
- Bruun C, Givskov H. 1991. Formation of CaF₂ on sound enamel and in caries-like enamel lesions after different forms of fluoride application in vitro. *Caries Res* 25: 96-100

- Buchalla W, Attin T, Schulte-Mönting J, Hellwig E. 2002. Fluoride uptake, retention and remineralization efficacy of a highly concentrated fluoride solution on enamel lesions in situ. *J Dent Res* 81 (5): 329-333
- Burk H, Schulte A, Faller RV. 1997. Fluoridgehalt in demineralisiertem Schmelz nach Verwendung verschiedener Zahnpasten in vitro. *Quintessenz* 48: 33-47
- Cammann K, Hrsg. 1977. Das Arbeiten mit ionenselektiven Elektroden. Zweite Aufl. Berlin: Springer Verlag, 67-75
- Caslavska V, Brudevold F, Vrbic V, Moreno EC. 1971. Response of human enamel to topical application of ammonium fluoride. *Archs Oral Biol* 16 (10): 1173- 1180
- Christoffersen J, Christoffersen MR, Kibalczyk W, Perdok WG. 1988. Kinetics of dissolution and growth of calcium fluoride and effects of phosphate. *Acta Odontol Scand* 46: 325-336
- Clarkson JJ, McLoughlin J. 2000. Role of fluoride in oral health promotion. *Int Dent J* 50: 119-128
- De Bruyn H, Ahrens G. 1985. Wirksamkeit von Fluoridlacken. *Oralprophylaxe* 7: 131-142
- De Jong HP. 1984. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen.
- Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde, Deutsche Gesellschaft für Kinderheilkunde, Deutsche Gesellschaft für Ernährung. 1996. Empfehlungen zur Kariesprophylaxe mit Fluoriden. *Dtsch Zahnärztl Z* 51: 725-726
- Driessens FCM. 1982. Mineral aspects of dentistry. Basel: Karger, 154-158
- Duff EJ. 1983. Reaction of Monofluorophosphate with Apatitic Substrates. *Caries Res* 17, Suppl 1: 77-90
- Durst RA. 1969. Fluoride microelectrode – fabrication and characteristics. *Anal Chem* 41: 2089-2090
- Duschner H. 1987. Fluorid und seine Reaktionsmechanismen im Biotop Mundhöhle. *Zahnärztl Mitt* 77: 360-362
- Duschner H, Uchtmann H, Duschner HA. 1984. Wirkungsmechanismen von Fluorid nach Duraphat-Behandlung. *Dtsch Zahnärztl Z* 39: 705-709
- Duschner H, Uchtmann H. 1985. Reaktionen von Aminfluoriden mit Oberflächenschmelz I. Einfluss unterschiedlicher Kationen, Konzentrationen und Einwirkzeiten. *Dtsch Zahnärztl Z* 40: 482-487
- Duschner H, Uchtmann H. 1988. Effect of sodium fluoride, stannous fluoride, amine hydrofluoride and sodium monofluorophosphate on the formation of precipitates adhering to bovine enamel. *Caries Res* 22: 65-71

- Einwag J, Hellwig E, Hotz P, Städtler P, Bößmann K. 1993. Die relative karieshemmende Wirksamkeit von Aminfluorid und Natriumfluorid in kompatiblen Zahnpasten—Ergebnisse einer Konsensus-Konferenz. *Quintessenz* 44: 1697-1707
- Ericson T, Ericsson Y. 1967. Effect of partial fluorine substitution on the phosphate exchange and protein adsorption of hydroxyapatite. *Helv Odontol Acta* 11: 10-16
- Esser M, Tinschert J, Marx R. 1998. Materialkennwerte der Zahnhartsubstanz des Rindes im Vergleich zur humanen Zahnhartsubstanz. *Dtsch Zahnärztl Z* 53: 713-717
- Faller RV, Agricola FO, White DJ. 1991. Salivary effects on in vitro activity of sodium fluoride (NaF) and amine fluoride (AmF) dentifrices. *Caries Res* 25: 291-297
- Fischer C, Lussi A, Hotz P. 1995. Kariostatische Wirkungsmechanismen der Fluoride. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 105 (3): 311-317
- Featherstone JDB. 1999. Prevention and reversal of dental caries: Role of low level fluoride. *Community Dent Oral Epidemiol* 27: 31-40
- Featherstone JDB, Ten Cate JM. 1988. Physiochemical aspects of fluoride-enamel interactions. In: Ekstrand J, Fejerskov O, Silverstone LM, ed.: *Fluoride in Dentistry*. Munksgaard, Copenhagen
- Fejerskov O, Thylstrup A, Larsen MJ. 1981. Rational use of fluorides in caries prevention. A concept based on the possible cariostatic mechanisms. *Acta Odontol Scand* 39: 241-249
- Fejerskov O, Clarkson BH. 1996. Dynamics of caries lesion formation. In: Fejerskov O, Ekstrand J, Burt BA (eds): *Fluoride in Dentistry*. Copenhagen, Munksgaard: 187-213
- Flessa HJ, Gülzow HJ. 1970. Über die Verweildauer von Natriumfluorid und Aminfluoriden in den Plaques. *Dtsch Zahnärztl Z* 25: 252- 259
- Gabriel E, Enginalev A, Bang S, Röhl A. 1985. Die Wirkung von lokal in vivo applizierten Fluoridpräparaten. *Quintessenz* 36: 111-123
- Gehring F. 1983. Wirkung von Aminfluorid und Natriumfluorid auf Keime der Plaqueflora. *Dtsch Zahnärztl Z* 38: 36-42
- Gintner Z, Tóth ZS, Bánóczy J. 2000. Wirkung von Fluoridverbindungen in Zahnpasten auf den Zahnschmelz. Bestimmung von Fluoridgehalt und Säurelöslichkeit des Zahnschmelzes in vitro. *Oralprophylaxe* 22: 44-46
- Glass RL ed. 1982. The first international conference on the declining prevalence of dental caries. *J Dent Res* 61: 1304-1383
- Grøn P, Caslavská V. 1981. Fluoride deposition in enamel from monofluorophosphate application. *Caries Res* 15: 90-97

Gülzow HJ, Hrsg. 1995. Präventive Zahnheilkunde. Grundlagen und Möglichkeiten der Karies- und Gingivitsprophylaxe. München, Wien: Hanser Verlag

Gülzow HJ, Lang G. 1967. Klinisch-experimentelle Untersuchungen über die Wirksamkeit zur Kariesprophylaxe angewandter Aminfluoride. Dtsch Zahnärztl Z 22: 414-418

Gülzow HJ, Ganschow C, Mannes C. 1993. Fluoridaufnahme der Schmelzoberfläche aus Zahnpasten mit unterschiedlichen Fluoridverbindungen. Dtsch Zahnärztl Z 48: 112-119

Gülzow HJ, Köhler D. 1998. Zur Verfügbarkeit von Fluorid aus Zahnpasten. Oralprophylaxe 20: 28-31

Gülzow HJ, Farshi H. 2000. Die Zahngesundheit Hamburger Kindergartenkinder 1977-1998. Dtsch Zahnärztl Z 55: 770-783

Hamilton IR. 1990. Biochemical effects of fluoride on oral bacteria. J Dent Res 69: 660-665

Hannig M. 1994. Bildung, Funktion und Bedeutung der Pellikel. Oralprophylaxe 16: 39-47

Harding AM, Zero DT, Featherstone JDB, McCormack SM, Shields CP, Proskin HM. 1994. Calcium fluoride formation on sound enamel using fluoride solutions with and without lactate. Caries Res 28: 1-8

Hardwick JL. 1971. Die Bedeutung von Fluor in der dentalen Plaque. Dtsch Stomatol 21: 107-110

Hellwig E. 1996. Fluoride - Chemie und Biochemie. Dtsch Zahnärztl Z 51: 638-648

Hellwig E, Klimek J. 1984. Fluoridverlust aus demineralisiertem Schmelz nach Applikation verschieden konzentrierter NaF- und Na-MFP-Lösungen im künstlichen Mund. Dtsch Zahnärztl Z 39: 892-906

Hellwig E, Klimek J, Wagner H. 1987. The influence of plaque on reaction mechanism of MFP and NaF in vivo. J Dent Res 66: 46-49

Hellwig E, Klimek J, Höhne E. 1990. In-situ-Fluoridaufnahme initialer Kariesläsionen nach Applikation zweier Kinderzahnpasten. Oralprophylaxe 12: 65-71

Hellwig E, Attin T, Metke W. 1993. Beeinflusst eine Fluoridlackapplikation die De- und Remineralisation von kariösen Initialläsionen in vitro? Schweiz Monatsschr Zahnmed 103: 150-155

Hellwig E, Klimek J, Attin T, Hrsg. 1995. Einführung in die Zahnerhaltung. Berlin, Urban & Schwarzenberg

Hellwig E, Lennon A M. 2004. Systemic versus topical fluoride. Caries Res 38 (3): 258-262

Henschler D. 1983. Kinetik der Aufnahme und Abgabe von Fluorid aus verschiedenen chemischen Bindungsformen in Zahnmodellen. Dtsch Zahnärztl Z 38, Sonderheft 1: 14-26

Hicks J, Garcia-Godoy F, Flaitz C. 2004. Biological factors in dental caries: role of remineralization and fluoride in the dynamic process of demineralization and remineralization (part 3). J Clin Pediatr Dent 28 (3): 203-214

IDZ. 1999. Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III). Köln, Deutscher Ärzte-Verlag

Inaba D, Kawasaki K, Iijima Y, Taguchi N, Hayashida H, Yoshikawa T, Furugen R, Fukumoto E, Nishiyama T, Tanaka K, Takagi O. 2002. Enamel fluoride uptake from mouthrinse solutions with different NaF concentrations. Community Dent Oral Epidemiol 30 (4): 248-253

Ingram GS. 1972. The reaction of monofluorophosphate with apatite. Caries Res 6: 1-15

Ingram GS. 1977. Reaction between apatite and monofluorophosphate: modification by fluoride and condensend phosphate. Caries Res 11: 30-38

Jenkins GN, Edgar WM. 1977. Distribution and forms of F in saliva and plaque. Caries Res 11, Suppl 1: 226- 242

Kagerbauer CJ. 1989. Die Elution von Fluorid aus dem Schmelz nach Applikation verschiedener Fluoridlacke. Med Diss, Regensburg (1989)

Kidd EAM, Joyston-Bechal S. 1980. Histopathological appearance of caries-like lesions of enamel created artificially in vitro in acidified gels containing fluoride. Caries Res 14: 40-44

Kirkegaard E. 1977. In vitro fluoride uptake in human dental enamel from various fluoride solutions. Caries Res 11: 16-23

Klimek J. 1981. Fluoridaufnahme künstlicher kariöser Initialläsionen nach Behandlung mit verschiedenen Fluoridverbindungen. Dtsch Zahnärztl Z 36: 520-524

Klimek J. 1986. Wird die Wirkung lokaler Fluoridierungsmaßnahmen durch eine vorhergehende Zahnreinigung erhöht? Oralprophylaxe 8: 164-168

Klimek J, Hellwig E, Ahrens G. 1982. Der Einfluss von Plaque auf die Fluoridstabilität im Schmelz nach Applikation von Aminfluorid im künstlichen Mund. Dtsch Zahnärztl Z 37: 836-840

Klimek J, Ganss C, Schwan P, Schmid R. 1998. Fluoridaufnahme im Zahnschmelz nach Anwendung von NaF- und AmF-Zahnpasten. Oralprophylaxe 20: 192-196

- Klimm W. 1982. Zur externen Wirkung der Fluoride: Ihre antibakterielle und plaquehemmende Bedeutung (1). Stomatol DDR 32: 745-768
- Klimm W. 1983. Zur externen Wirkung der Fluoride: Ihre antibakterielle und plaquehemmende Bedeutung (2). Stomatol DDR 33: 51-58
- Koch G. 2003. Fluoride toothpastes and their contribution to the caries decline. Which fluoride content is necessary? Oralprophylaxe 25: 22-25
- Koch G, Koch-Dedic GA, Hrsg. 1974. Handbuch der Spurenanalyse. Teil 1. Berlin: Springer-Verlag
- Koch G, Petersson LG, Kling E, Kling L. 1982. Effect of 250 and 100 ppm fluoride dentifrice on caries. Swed Dent J 6: 233-238
- Koch G, Bergmann-Arnadottir J, Bjarnarson S, Finnbogason S, Höskuldsson O, Karlsson R. 1990. Caries-preventive effect of fluoride dentifrices with and without anticalculus agents. A 3-year controlled clinical trial. Caries Res 24: 72-81
- König KG. 1993. Role of fluoride toothpastes in a caries-preventive strategy. Caries Res 27, Suppl 1: 23-28
- König KG. 2001. Die Gründe zur Erhöhung des Fluoridgehalts in Kinderzahnpasten. Oralprophylaxe 23: 27-31
- Koulourides T, Cameron B. 1980. Enamel remineralization as a factor in the pathogenesis of dental caries. J Oral Pathol 9: 255-261
- Künzel W, Hrsg. 1997. Caries decline in Deutschland: Eine Studie zur Entwicklung der Mundgesundheit. Heidelberg: Hüthig-Verlag
- Künzel W, Fischer T. 1998. Gesellschaftliche Transformation und Prognose der Kariesprävalenz in Ostdeutschland-Hypothesen, Ergebnisse und Ursachen. In: Stöber L, Hrsg. Kariesdynamik und Kariesrisiko. Berlin: Quintessenz Verlags GmbH, 46-69
- Lagerlöf F, Ekstrand J, Rølla G. 1988. Effect of fluoride addition on ionized calcium in salivary sediment and in saliva. Scand J Dent Res 96: 399-404
- Larsen MJ. 1990. Chemical events during tooth dissolution. J Dent Res 69, Spec Iss: 575-580
- Leverett DH, Adair SM, Vaughan BW, Proskin HM, Moss ME. 1997. Randomized clinical trial of the effect of prenatal fluoride supplements in preventing dental caries. Caries Res 31: 174-179
- Lodding A. 1997. SIMS of biomineralized tissues: present trends and potentials. Adv Dent Res 11: 364-367
- Loveren C van, König KG. 1999. Die Niederlande. 500-750 ppm Fluorid in Kinderzahnpasten. Oralprophylaxe 21: 23-28

- Maia LC, de Souza IP, Cury JA. 2003. Effect of combination of fluoride dentifrice and varnish on enamel surface rehardening and fluoride uptake in vitro. *Eur J Oral Sci* 111 (1): 68-72
- Manley RS, Hodge HC. 1939. Density and refractive index studies of dental hard tissues. *J Dent Res* 18: 133-141
- Margolis HC, Moreno EC, Murphy BJ. 1986. Effect of low levels of fluoride in solution on enamel demineralization in vitro. *J Dent Res* 65: 23-28
- Marsh PD. 1995. Effect of fluorides on bacterial metabolism. In: Bowen WH, ed. *Relative efficacy of sodium fluoride and sodium monofluor-phosphate as anti-caries agents in dentifrices*. Royal Soc Med Press, London 9-21
- Marthaler TM. 1990. Changes in the prevalence of dental caries. How much can be attributed to changes in diet? *Caries Res* 24 (1): 3-15
- Marthaler TM. 1990a. Cariostatic efficacy of the combined use of fluorides. *J Dent Res* 69, Spec. Iss: 797-800
- Marthaler TM. 1998. Gesicherte und wahrscheinliche Ursachen des Kariesrückganges. In: Stöber L, Hrsg. *Kariesdynamik und Kariesrisiko*. Berlin, Quintessenz Verlags GmbH, 37-45
- Marthaler TM, Downer M, Moller I. 1990. Caries status in Europe and predictions of future trends. *Caries Res* 24: 381-396
- Marthaler TM, Brunelle J, Downer M, König KG, Künzel W, O`Mullan D, Möller IJ, Fehr van der FR, Vrbic V. 1996. The prevalence of dental caries in Europe 1990-1995. *Caries Res* 30: 237-255
- Mathiesen AT, Øgaard B, Rølla G. 1996. Oral hygiene as a variable in dental caries experience in 14-years-olds exposed to fluoride. *Caries Res* 30: 29-33
- McKay FS. 1952. The study of mottled enamel (dental fluorosis). *J Am Dent Assoc* 44: 133-137
- Mellberg JR, Ripa LW, Leske GS. 1983. Fluoride dentifrices. In: Mellberg JR, ed. *Fluoride in preventive dentistry-Theory and clinical applications*. Berlin: Quintessenz Verlag
- Möller KJ, Schait A, Mühlemann, HR. 1965: Fluorindholdet i den superfichielle del of fluorbenhandlede ok ikke-fluorbenhandlede taenders emalje. *Tandlaegebladet* 69: 849-862
- Mühlemann HR. 1967. Die kariesprophylaktische Wirkung der Aminfluoride (I). 10 Jahre Erfahrungen. *Quintess Zahnärztl Lit* 18: 113-122
- Mühlemann HR. 1982. Die Salzfluoridierung – die beste Fluoridierung. Eine Einleitung. *Schweiz Mschr Zahnheilkd* 92: 251-254

- Mühlemann HR. 1983. Entwicklung der Aminfluoride und ihre Anwendung in der Kariesprophylaxe. Dtsch Zahnärztl Z 38, Sonderheft 1: 3-5
- Mühlemann HR, König KG, Marthaler TM, Schait A, Schmid H. 1960. Organische Fluoride. Schweiz Mschr Zahnheilk 70: 1037-1056
- Newbrun E. 2001. Topical fluorides in caries prevention and management: a North American perspective. J Dent Educ 65: 1078-1083
- Nicholson CR, Mellberg JR. 1969. Effect of natural fluoride concentration of human tooth enamel on fluoride uptake in vivo. J Dent Res 48: 302-308
- Nikiforuk G. 1985. Understanding dental caries. Basel, Karger
- Øgaard B. 1990. Effects of fluoride on caries development and progression in vivo. J Dent Res 69, Spec Iss: 813-819
- Øgaard B, Rølla G, Ruben J, Dijkman T, Arends J. 1988. Microradiographic study of demineralisation of shark enamel in a human caries model. Scand J Dent Res 96: 209-211
- Øgaard B, Rølla G, Dijkman T, Ruben J, Arends J. 1991. Effect of fluoride mouthrinsing on caries lesion development in shark enamel: an in situ caries model study. Scand J Dent Res 99: 372-377
- Petersson LG, Arvidsson I, Lynch E, Engstrom K, Twetman S. 2002. Fluoride concentrations in saliva and dental plaque in young children after intake of fluoridated milk. Caries Res 36 (1): 40-43
- Petzold M, Wohlfahrt-Zhou J, Berthold L, Cismak A, Schaller HG. 2004. A SEM and TEM study of the stability of CaF_2 -like precipitates formed on dental enamel surfaces. 51st ORCA Congress. Caries Res 38: 374-396
- Pigman W, Kotwal K, Koulourides T. 1966. Calcifying ability of human body fluids. Arch Oral Biol 11: 815-824
- Pilz MEW, Hrsg. 1985. Praxis der Zahnerhaltung und oralen Prävention. Leipzig, J A Barth Verlag, 449-457
- Reich E. 2001. Trends in caries and periodontal health epidemiology in Europe. Int Dent J 51, Suppl 1: 392-398
- Reich E, Schmalz G, Bergmann RL, Bergler H, Bergmann KE. 1992. Kariesbefall von Kindern nach unterschiedlich langer Applikation von Fluoridtabletten. Dtsch Zahnärztl Z 47: 232-234
- Reintsema H, Schuthof J, Arends J. 1985. An in vivo investigation of the fluoride uptake in partially demineralized human enamel from several different dentifrices. J Dent Res 64: 19-33

- Renggli HH. 1983. Plaquehemmung durch Aminfluorid. Dtsch Zahnärztl Z 38: 45-49
- Retief DH, Cleaton-Jones PE, Turkstra J, De Wet WJ. 1971. The quantitative analysis of sixteen elements in normal human enamel and dentine by neutron activation analysis and high-resolution gamma-spectrometry. Arch Oral Biol 16: 1257-1267
- Retief DH, Bradley EL, Holbrook M, Switzer P. 1983. Enamel fluoride uptake, distribution and retention from topical agents. Caries Res 17: 44-51
- Robinson C, Kirkham J, Weatherell JA. 1996. Fluoride in teeth and bone. In: Fejerskov O, Ekstrand J, Burt BA, ed. Fluoride in Dentistry. Munksgaard, Copenhagen
- Robinson C, Connell S, Kirkham J, Brookes SJ, Shore RC, Smith AM. 2004. The effect of fluoride on the developing tooth. Caries Res 38 (3): 268-276
- Rølla G. 1986. Other chemical and antimicrobial agents and dental caries. In: Thylstrup A, Fejerskov O, ed. Textbook of cariology. Munksgaard, Copenhagen
- Rølla G, Melsen B. 1975. Desorption of protein and bacteria from hydroxyapatite by fluoride and monofluorophosphate. Caries Res 9: 66-74
- Rølla G, Øgaard B, De Almeida Cruz R. 1991. Fluoride-containing toothpastes, their clinical effect and mechanism of cariostatic action: a review. Int Dent J 41: 171-174
- Rølla G, Øgaard B, De Almeida Cruz R. 1993. Topical application of fluorides in teeth. J Clin Periodontol 20: 105-108
- Rølla G, Saxegaard E. 1990. Critical evaluation of the composition and use of topical fluorides with emphasis on the role of calcium fluoride in caries inhibition. J Dent Res 69: 780-793
- Saxegaard E, Rølla G. 1988a. Fluoride acquisition on and in human enamel during topical application in vitro. Scand J Dent Res 96: 523-535
- Saxegaard E, Rølla G. 1988b. Dissolution of calcium fluoride in human saliva. Acta Odontol Scand 46: 355-359
- Saxton CA, Critchley P. 1972. The effect of fluoride and monofluorophosphate on polysaccharide synthesis in human plaque in vivo. Caries Res 6: 102-106
- Schiffner U. 2001. Grundlagen der Fluoridanwendung. Oralprophylaxe 23: 23-26
- Schiffner U, Gülzow HJ. 1999. Demineralisation von Schmelz und Wurzeldentin nach unterschiedlicher Vorbehandlung mit Fluorid. Dtsch Zahnärztl Z 54: 112-116
- Schmid H. 1983. Chemie und Oberflächenwirkung der Aminfluoride. Dtsch Zahnärztl Z 38, Sonderheft 1: 9-13
- Schroeder HE, Hrsg. 1992. Orale Strukturbiologie. Vierte Aufl. Stuttgart, New York: Thieme Verlag

Shu M, Pearce EIF, Sissons CH, Coote GE, Miller JH. 1998. Fluoride distribution in sound and carious root tissues of human teeth. *Caries Res* 32: 239-245

Silverstone LM. 1977. Remineralisation phenomena. *Caries Res* 11, Suppl 1: 59-71

Stephen KW. 1993. Dentifrices: recent clinical findings and implication for use. *Int Dent J* 43: 549-556

Stöber L, Schaper R. 1985. Nachweis der reduzierten Schmelzlöslichkeitsrate permanenter Zähne nach Lokalapplikation von Fluoriden. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd* 73: 795-799

Stöber L, Tietze W, Heinrich-Weltzien R, Kneist S, Schumann V, Möller M, Busse H. 1998. Studiendesign und Repräsentativität der Erfurter Kariesrisiko-Studie mit Schülern der ersten und fünften Klasse. In: Stöber L (Hrsg.): *Kariesdynamik und Kariesrisiko*. Berlin: Quintessenz Verlag, 168-178

Stöber L, Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J. 2005. Fluoride in der Kariesprävention- neue Handlungsempfehlungen? *Zahnärztlicher Gesundheitsdienst* 35: 14-16

Stookey GK, De Paola PF, Featherstone JDB, Fejerskow O, Möller IJ, Rotberg S, Stephen KW; Wefel JS. 1993. A critical review of the relative anticaries efficacy of sodium fluoride and sodium monofluorophosphat dentifrices. *Caries Res* 27: 337-360

Strübiger W. 1980. Die Wirksamkeit lokaler Fluoridierungsmittel. *Dtsch Zahnärztl Z* 35: 1067-1069

Strübiger W, Gülzow HJ, Ahrens G. 1978. Untersuchungen zur Stabilität der Fluoridkonzentration an der Schmelzoberfläche. *Dtsch Zahnärztl Z* 33: 172-178

Strübiger W, Gülzow HJ. 1986. Untersuchungen zur lokalen Wirksamkeit von Gelees mit unterschiedlichem Fluorid-Gehalt und unterschiedlichem pH. *Dtsch Zahnärztl Z* 4: 832-835

Ten Cate JM. 1979. Remineralization of enamel lesions. A study of the physico-chemical mechanism. *Naturwiss Diss*, Groningen

Ten Cate JM. 1990. In vitro studies on the effect of fluoride on de- and remineralisation. *J Dent Res* 69: 614-619

Ten Cate JM. 1995. Laboratory de- and remineralization models. In: Bowen WH (Hrsg): *Relative efficacy of sodium fluoride and sodium monofluorophosphate as anti-caries agents in dentifrices*. Royal Soc Med Press, London: 25-36

Ten Cate JM. 1997. Review on fluoride, with spezial emphasis on calcium fluoride mechanisms in caries prevention. *Eur J Oral Sci*: 461-465

Ten Cate JM. 2003. Physico-chemical aspects of fluoride enamel interactions and the consequences for caries prevention. *Oralprophylaxe* 25: 18-21

- Ten Cate JM. 2004. Fluorides in caries prevention and control: empiricism or science. *Caries Res* 38: 254-257
- Ten Cate JM, Duijsters PPE. 1983. Influence of fluoride in solution on tooth demineralization. I. Chemical data. *Caries Res* 17: 193-199
- Thylstrup A. 1990. Clinical evidence of the role of pre-eruptive fluoride in caries prevention. *J Dent Res* 69, Spec Iss: 742-750
- Torell P, Ericsson Y. 1965. Two year clinical tests with different methods of local caries-preventive fluoride application in Swedish school-children. *Acta odont scand* 23: 287-322
- Van Strijp AJP, Buijs MJ, Ten Cate JM. 1999. In situ fluoride retention in enamel and dentine after the use of an amine fluoride dentifrice and amine fluoride/sodium fluoride mouthrinse. *Caries Res* 33: 61-68
- Venkatesvarlu P. 1977. Determination of fluoride in biological material. *Biochem Anal* 24: 141-146
- Wagner HR, Weinert W. 1981. Klinische Untersuchungen der kariesprophylaktischen Wirksamkeit fluorhaltiger Zahnpasten. *Kariesprophylaxe* 3: 67-74
- Warren JJ, Levy SM. 1999. A review of fluoride dentifrices related to dental fluorosis. *Pediatr Dent* 21: 265-272
- Weatherell JA, Deutsch D, Robinson C, Hallsworth AS. 1977. Assimilation of fluoride by enamel throughout the life of the tooth. *Caries Res* 11, Suppl 1: 85-115
- Weidmann JA, Hamm SM. 1967. Variation of enamel density in sections of human teeth. *Arch Oral Biol* 12: 85-97
- Werneburg E. 1981. Reproduzierbarkeit der elektrochemischen Fluoridbestimmung bei verschiedenen Fluoridkonzentrationen. Diplomarbeit, Med Ak Erfurt
- WHO. 1994. Fluorides and oral health. Technical report series 846, Geneva
- White DJ, Nancollas GH. 1990. Physical and chemical considerations of the role of firmly and loosely bound fluoride in caries prevention. *J Dent Res* 69: 587-593
- Wiedemann W, Klinger H. 1994. Aminfluorid und Natriumfluorid in Zahnpasten zur Kariesprophylaxe. *Zahnärztl Prax* 45: 278-285
- Zero DT, Raubertas RF, Fu J, Pedersen AM, Hayes AL, Featherstone JDB. 1992. Fluoride concentrations in plaque, whole saliva, and ductal saliva after application of home-use topical fluorides. *J Dent Res* 71: 1768-1775
- Zimmer S. 1996. Die Wirksamkeit verschiedener Fluoridverbindungen in Zahnpasten. *Oralprophylaxe* 18: 8-17

Zimmer S, Barthel CR, Seemann R. 1994. Welche Zahnpasta bietet den besten Schutz vor Karies? Quintessenz 45: 655-664

9 Anhang

Tab. 18: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der ersten Biopsieschicht vor Applikation in der Gruppe **bis 150 ppm F⁻** und nach Applikation von Olaflur_{Rind} und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.1.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F ⁻ -Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|-----------------|------------------|------------------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 1. | 1. | 1. | 40,66 | 257,05 | 216,39 |
| 1. | 2. | 1. | 31,60 | 143,23 | 111,63 |
| 2. | 1. | 1. | 151,02 | 482,95 | 331,93 |
| 2. | 2. | 1. | 103,60 | 367,04 | 263,44 |
| 3. | 1. | 1. | 16,82 | 502,91 | 486,09 |
| 3. | 2. | 1. | 15,91 | 204,59 | 188,68 |
| 29. | 1. | 1. | 11,13 | 228,92 | 217,79 |
| 29. | 2. | 1. | 21,56 | 229,9 | 208,34 |
| 36. | 1. | 1. | 10,50 | 733,68 | 723,18 |
| 36. | 2. | 1. | 11,13 | 801,67 | 790,54 |
| 43. | 1. | 1. | 13,70 | 219,8 | 206,1 |
| 43. | 2. | 1. | 49,33 | 327,16 | 277,83 |
| 50. | 1. | 1. | 176,59 | 597,69 | 421,1 |
| 50. | 2. | 1. | 130,79 | 531,28 | 400,49 |
| Mittelwerte | | | 56,02 | 401,99 | 345,97 |

Tab. 19: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der ersten Biopsieschicht vor Applikation in der Gruppe **350-600 ppm F⁻** und nach Applikation von Olaflur_{Rind} und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.1.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F ⁻ -Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|-----------------|------------------|------------------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 6. | 1. | 1. | 361,45 | 1209,09 | 847,64 |
| 6. | 2. | 1. | 371,71 | 1039,72 | 668,01 |
| 19. | 1. | 1. | 478,15 | 546,67 | 68,52 |
| 19. | 2. | 1. | 248,20 | 358,22 | 110,02 |
| 20. | 1. | 1. | 692,28 | 903,94 | 211,66 |
| 20. | 2. | 1. | 582,78 | 754,31 | 171,53 |
| 43. | 1. | 1. | 330,00 | 648,77 | 318,77 |
| 43. | 2. | 1. | 364,48 | 652,94 | 288,46 |
| 18. | 1. | 1. | 563,81 | 837,74 | 273,93 |
| 18. | 2. | 1. | 547,23 | 802,83 | 255,6 |
| 45. | 1. | 1. | 568,45 | 1106,6 | 538,15 |
| 45. | 2. | 1. | 690,00 | 1216,54 | 526,54 |
| 27. | 1. | 1. | 343,89 | 789,38 | 445,49 |
| 27. | 2. | 1. | 364,75 | 1153,85 | 789,1 |
| Mittelwerte | | | 464,79 | 859,11 | 393,81 |

Tab. 20: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der ersten Biopsieschicht vor Applikation in der Gruppe **800-1200 ppm F⁻** und nach Applikation von Olaflur_{Rind} und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.1.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F⁻-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 23. | 1. | 1. | 746 | 1071 | 325 |
| 23. | 2. | 1. | 1142 | 1260 | 117 |
| 25. | 1. | 1. | 1159 | 1347 | 188 |
| 25. | 2. | 1. | 872 | 1932 | 1060 |
| 33. | 1. | 1. | 740 | 1201 | 461 |
| 33. | 2. | 1. | 1075 | 1188 | 113 |
| 51. | 1. | 1. | 1236 | 1319 | 83 |
| 51. | 2. | 1. | 992 | 1451 | 459 |
| Mittelwerte | | | 995,25 | 1346,13 | 350,75 |

Tab. 21: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor Applikation und nach Applikation von **NaF pH 3,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F⁻-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 2. | 1. | 1. | 692,77 | 956,31 | 263,54 |
| 2. | 2. | 1. | 1522,29 | 2035,00 | 512,71 |
| 10. | 1. | 1. | 162,14 | 809,38 | 647,23 |
| 10. | 2. | 1. | 370,00 | 2101,23 | 1731,23 |
| 14. | 1. | 1. | 250,38 | 318,02 | 67,64 |
| 14. | 2. | 1. | 111,51 | 267,07 | 155,56 |
| 24. | 1. | 1. | 319,22 | 574,53 | 255,32 |
| 24. | 2. | 1. | 190,97 | 461,84 | 270,88 |
| 31. | 1. | 1. | 792,86 | 1865,04 | 1072,18 |
| 31. | 2. | 1. | 672,73 | 1523,53 | 850,80 |
| 32. | 1. | 1. | 94,18 | 257,88 | 163,70 |
| 32. | 2. | 1. | 45,47 | 759,82 | 714,35 |
| 33. | 1. | 1. | 195,12 | 1017,50 | 822,38 |
| 33. | 2. | 1. | 135,82 | 1361,60 | 1225,78 |
| 12. | 1. | 1. | 135,00 | 1409,52 | 1274,52 |
| 12. | 2. | 1. | 314,50 | 1611,29 | 1296,79 |
| 40. | 1. | 1. | 495,31 | 1048,48 | 625,17 |
| 40. | 2. | 1. | 415,44 | 916,81 | 501,38 |
| Mittelwerte | | | 382,21 | 1073,94 | 691,73 |

Tab. 22 Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 3,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 2. | 1. | 2. | 436,55 | 540,77 | 104,22 |
| 2. | 2. | 2. | 872,82 | 1121,11 | 248,39 |
| 10. | 1. | 2. | 73,52 | 413,33 | 339,81 |
| 10. | 2. | 2. | 148,00 | 1071,96 | 923,96 |
| 14. | 1. | 2. | 91,16 | 126,50 | 35,34 |
| 14. | 2. | 2. | 27,82 | 140,00 | 112,18 |
| 24. | 1. | 2. | 194,74 | 233,07 | 38,33 |
| 24. | 2. | 2. | 111,51 | 212,30 | 100,79 |
| 31. | 1. | 2. | 714,48 | 1243,61 | 529,13 |
| 31. | 2. | 2. | 464,31 | 994,62 | 530,31 |
| 32. | 1. | 2. | 60,00 | 88,55 | 28,55 |
| 32. | 2. | 2. | 32,99 | 232,40 | 199,41 |
| 33. | 1. | 2. | 81,94 | 864,23 | 782,29 |
| 33. | 2. | 2. | 57,83 | 1082,93 | 1025,10 |
| 12. | 2. | 2. | 252,83 | 1181,51 | 928,68 |
| 40. | 1. | 2. | 433,43 | 962,60 | 529,17 |
| 40. | 2. | 2. | 340,00 | 780,73 | 440,73 |
| Mittelwerte | | | 258,47 | 664,14 | 405,67 |

Tab.: 23 Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **dritten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 3,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5..2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 2. | 1. | 3. | 282,76 | 284,62 | 1,85 |
| 2. | 2. | 3. | 513,72 | 790,29 | 276,57 |
| 10. | 1. | 3. | 69,81 | 221,37 | 151,56 |
| 10. | 2. | 3. | 87,33 | 1166,67 | 1079,34 |
| 14. | 1. | 3. | 59,77 | 106,24 | 46,47 |
| 14. | 2. | 3. | 21,47 | 82,88 | 61,41 |
| 24. | 1. | 3. | 73,51 | 100,34 | 26,83 |
| 24. | 2. | 3. | 75,56 | 146,99 | 71,42 |
| 31. | 1. | 3. | 690,00 | 788,52 | 98,52 |
| 31. | 2. | 3. | 467,37 | 895,54 | 428,17 |
| 32. | 1. | 3. | 40,28 | 63,63 | 23,35 |
| 32. | 2. | 3. | 26,23 | 234,08 | 207,85 |
| 33. | 1. | 3. | 44,14 | 948,72 | 904,58 |
| 33. | 2. | 3. | 56,51 | 1263,41 | 1206,91 |
| 12. | 1. | 3. | 64,83 | 1006,14 | 941,31 |
| 12. | 2. | 3. | 173,33 | 531,28 | 357,95 |
| 40. | 1. | 3. | 380,00 | 1037,38 | 657,38 |
| 40. | 2. | 3. | 290,38 | 663,55 | 373,17 |
| Mittelwerte | | | 189,83 | 573,98 | 384,15 |

Tab. 24: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 4,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F -Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 11. | 1. | 1. | 39,39 | 694,32 | 654,93 |
| 11. | 2. | 1. | 12,33 | 420,92 | 408,59 |
| 16. | 1. | 1. | 11,75 | 457,06 | 445,31 |
| 16. | 2. | 1. | 12,87 | 484,20 | 471,33 |
| 17. | 1. | 1. | 11,30 | 419,12 | 407,82 |
| 17. | 2. | 1. | 12,33 | 619,53 | 607,20 |
| 21. | 1. | 1. | 11,30 | 218,71 | 207,41 |
| 21. | 2. | 1. | 11,77 | 270,99 | 259,22 |
| 22. | 1. | 1. | 79,50 | 691,39 | 611,89 |
| 22. | 2. | 1. | 111,59 | 729,28 | 617,69 |
| 23. | 1. | 1. | 204,92 | 438,52 | 233,60 |
| 23. | 2. | 1. | 277,50 | 448,50 | 166,00 |
| 24. | 1. | 1. | 235,45 | 756,82 | 521,37 |
| 24. | 2. | 1. | 274,31 | 802,24 | 527,93 |
| 37. | 1. | 1. | 26,91 | 556,48 | 529,57 |
| 37. | 2. | 1. | 38,95 | 583,95 | 545,00 |
| 38. | 1. | 1. | 263,56 | 418,48 | 154,92 |
| 38. | 2. | 1. | 284,62 | 543,29 | 258,67 |
| 4. | 1. | 1. | 14,65 | 390,56 | 375,91 |
| 4. | 2. | 1. | 15,58 | 569,23 | 553,65 |
| 40. | 1. | 1. | 205,86 | 520,32 | 314,46 |
| 40. | 2. | 1. | 196,21 | 548,15 | 351,94 |
| 5. | 1. | 1. | 152,70 | 569,23 | 416,53 |
| 5. | 2. | 1. | 95,93 | 561,37 | 465,44 |
| 51. | 1. | 1. | 73,20 | 572,45 | 499,25 |
| 51. | 2. | 1. | 80,73 | 572,68 | 491,95 |
| 6. | 1. | 1. | 16,82 | 216,18 | 199,36 |
| 6. | 2. | 1. | 14,10 | 313,56 | 299,46 |
| 8. | 1. | 1. | 55,94 | 612,42 | 556,48 |
| 8. | 2. | 1. | 30,17 | 555,00 | 524,83 |
| Mittelwerte | | | 95,76 | 518,50 | 422,75 |

Tab. 25: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 4,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 11. | 1. | 2. | 18,89 | 292,35 | 273,46 |
| 11. | 2. | 2. | 14,56 | 375,36 | 360,80 |
| 16. | 1. | 2. | 11,56 | 350,00 | 338,44 |
| 16. | 2. | 2. | 11,65 | 281,41 | 269,76 |
| 17. | 1. | 2. | 11,20 | 377,55 | 407,82 |
| 17. | 2. | 2. | 13,83 | 518,00 | 504,17 |
| 21. | 1. | 2. | 10,57 | 97,58 | 87,00 |
| 21. | 2. | 2. | 11,75 | 143,38 | 131,63 |
| 22. | 1. | 2. | 24,87 | 614,77 | 589,90 |
| 22. | 2. | 2. | 36,69 | 604,08 | 567,39 |
| 23. | 1. | 2. | 95,14 | 297,92 | 202,78 |
| 23. | 2. | 2. | 82,22 | 205,39 | 123,17 |
| 24. | 1. | 2. | 77,52 | 370,00 | 292,48 |
| 24. | 2. | 2. | 91,37 | 558,50 | 467,13 |
| 37. | 1. | 2. | 10,50 | 422,86 | 412,36 |
| 37. | 2. | 2. | 9,81 | 325,60 | 316,49 |
| 38. | 1. | 2. | 240,00 | 361,78 | 121,78 |
| 38. | 2. | 2. | 283,40 | 467,37 | 183,97 |
| 4. | 1. | 2. | 13,70 | 118,40 | 104,7 |
| 4. | 2. | 2. | 14,95 | 364,64 | 349,69 |
| 40. | 1. | 2. | 173,19 | 455,28 | 282,09 |
| 40. | 2. | 2. | 196,21 | 438,84 | 244,10 |
| 5. | 1. | 2. | 75,57 | 514,39 | 438,82 |
| 5. | 2. | 2. | 41,67 | 430,75 | 389,08 |
| 51. | 1. | 2. | 21,76 | 562,65 | 540,89 |
| 51. | 2. | 2. | 22,28 | 544,53 | 522,29 |
| 6. | 1. | 2. | 15,10 | 74,00 | 58,90 |
| 6. | 2. | 2. | 13,70 | 117,46 | 103,76 |
| 8. | 1. | 2. | 38,61 | 461,30 | 422,69 |
| 8. | 2. | 2. | 27,03 | 331,05 | 304,02 |
| Mittelwerte | | | 56,90 | 369,24 | 312,33 |

Tab. 26: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **dritten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 4,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 11. | 1. | 3. | 7,67 | 182,47 | 174,80 |
| 11. | 2. | 3. | 11,94 | 282,37 | 270,43 |
| 16. | 1. | 3. | 11,30 | 254,375 | 269,85 |
| 16. | 2. | 3. | 11,56 | 281,41 | 269,85 |
| 17. | 1. | 3. | 10,65 | 250,85 | 240,20 |
| 17. | 2. | 3. | 12,44 | 386,57 | 374,14 |
| 21. | 1. | 3. | 10,42 | 88,80 | 78,38 |
| 21. | 2. | 3. | 11,38 | 141,92 | 130,54 |
| 22. | 1. | 3. | 23,49 | 220,90 | 197,41 |
| 22. | 2. | 3. | 39,94 | 526,78 | 486,84 |
| 23. | 1. | 3. | 49,73 | 280,67 | 230,94 |
| 23. | 2. | 3. | 108,45 | 193,04 | 84,54 |
| 24. | 1. | 3. | 63,10 | 256,54 | 193,44 |
| 24. | 2. | 3. | 97,26 | 425,76 | 328,50 |
| 37. | 1. | 3. | 10,70 | 305,96 | 295,26 |
| 37. | 2. | 3. | 10,57 | 280,93 | 270,36 |
| 38. | 1. | 3. | 237,36 | 288,31 | 50,95 |
| 38. | 2. | 3. | 284,60 | 417,44 | 132,84 |
| 4. | 1. | 3. | 13,45 | 116,48 | 103,03 |
| 4. | 2. | 3. | 14,95 | 132,54 | 117,59 |
| 40. | 1. | 3. | 157,74 | 356,04 | 198,30 |
| 40. | 2. | 3. | 167,73 | 357,02 | 189,29 |
| 5. | 1. | 3. | 71,84 | 251,15 | 179,31 |
| 5. | 2. | 3. | 22,99 | 349,28 | 326,29 |
| 51. | 1. | 3. | 17,21 | 438,52 | 421,31 |
| 51. | 2. | 3. | 14,37 | 517,11 | 502,74 |
| 6. | 1. | 3. | 15,58 | 75,04 | 59,46 |
| 6. | 2. | 3. | 12,31 | 90,71 | 78,40 |
| 8. | 1. | 3. | 11,75 | 403,64 | 391,89 |
| 8. | 2. | 3. | 28,69 | 199,23 | 170,54 |
| Mittelwerte | | | 52,03 | 278,39 | 226,36 |

Tab. 27: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 5,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 5. | 1. | 1. | 715,50 | 732,04 | 16,55 |
| 5. | 2. | 1. | 822,22 | 1091,80 | 269,58 |
| 7. | 1. | 1. | 77,76 | 204,92 | 127,16 |
| 7. | 2. | 1. | 97,85 | 398,46 | 300,61 |
| 11. | 1. | 1. | 15,89 | 114,15 | 98,26 |
| 11. | 2. | 1. | 15,68 | 83,33 | 67,65 |
| 17. | 1. | 1. | 610,63 | 937,82 | 327,19 |
| 17. | 2. | 1. | 756,20 | 1088,24 | 332,03 |
| 25. | 1. | 1. | 190,67 | 341,54 | 150,86 |
| 25. | 2. | 1. | 271,65 | 518,63 | 246,99 |
| 34. | 1. | 1. | 326,62 | 853,33 | 526,71 |
| 34. | 2. | 1. | 329,58 | 696,47 | 366,89 |
| 36. | 1. | 1. | 769,13 | 798,04 | 28,91 |
| 36. | 2. | 1. | 355,77 | 676,57 | 320,80 |
| 41. | 1. | 1. | 130,24 | 178,15 | 47,91 |
| 41. | 2. | 1. | 132,36 | 115,00 | -17,36 |
| 46. | 1. | 1. | 257,39 | 441,15 | 183,76 |
| 46. | 2. | 1. | 442,47 | 693,02 | 250,54 |
| 21. | 1. | 1. | 215,12 | 228,73 | 13,61 |
| 21. | 2. | 1. | 162,44 | 168,46 | 6,02 |
| Mittelwerte | | | 334,76 | 517,99 | 183,23 |

Tab. 27: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 5,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 5. | 1. | 2. | 533,24 | 509,12 | -24,12 |
| 5. | 2. | 2. | 816,96 | 628,67 | -188,29 |
| 7. | 1. | 2. | 62,98 | 163,58 | 100,60 |
| 7. | 2. | 2. | 60,75 | 209,56 | 148,81 |
| 11. | 1. | 2. | 14,90 | 31,80 | 16,90 |
| 11. | 2. | 2. | 13,36 | 25,59 | 12,23 |
| 17. | 1. | 2. | 606,56 | 782,81 | 176,25 |
| 17. | 2. | 2. | 729,58 | 856,08 | 126,50 |
| 25. | 1. | 2. | 108,96 | 109,75 | 0,79 |
| 25. | 2. | 2. | 87,33 | 109,18 | 21,85 |
| 34. | 1. | 2. | 320,30 | 801,03 | 480,73 |
| 34. | 2. | 2. | 310,62 | 683,08 | 372,46 |
| 36. | 1. | 2. | 634,29 | 732,67 | 98,39 |
| 36. | 2. | 2. | 317,14 | 341,54 | 24,40 |
| 41. | 1. | 2. | 89,05 | 59,72 | -29,33 |
| 41. | 2. | 2. | 77,42 | 51,97 | -25,45 |
| 46. | 1. | 2. | 151,24 | 199,43 | 48,19 |
| 46. | 2. | 2. | 209,85 | 573,88 | 364,03 |
| 21. | 1. | 2. | 106,41 | 98,91 | -7,49 |
| 21. | 2. | 2. | 70,65 | 37,61 | -33,04 |
| Mittelwerte | | | 266,08 | 350,30 | 84,22 |

Tab. 28: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **dritten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 5,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 5. | 1. | 3. | 499,87,24 | 493,33 | -6,53 |
| 5. | 2. | 3. | 493,33 | 556,39 | 63,06 |
| 7. | 1. | 3. | 55,30 | 94,47 | 39,17 |
| 7. | 2. | 3. | 36,26 | 185,00 | 148,74 |
| 11. | 1. | 3. | 13,95 | 29,34 | 15,39 |
| 11. | 2. | 3. | 11,38 | 21,50 | 10,12 |
| 17. | 1. | 3. | 613,47 | 660,71 | 47,24 |
| 17. | 2. | 3. | 709,59 | 668,06 | -41,53 |
| 25. | 1. | 3. | 72,08 | 68,63 | -3,45 |
| 25. | 2. | 3. | 62,41 | 88,26 | 25,85 |
| 34. | 1. | 3. | 272,85 | 550,70 | 277,85 |
| 34. | 2. | 3. | 289,90 | 622,03 | 332,13 |
| 36. | 1. | 3. | 517,40 | 296,00 | -221,40 |
| 36. | 2. | 3. | 165,12 | 200,42 | 35,29 |
| 41. | 1. | 3. | 76,60 | 50,35 | -26,25 |
| 41. | 2. | 3. | 77,95 | 38,55 | -39,40 |
| 46. | 1. | 3. | 86,05 | 198,70 | 112,66 |
| 46. | 2. | 3. | 143,58 | 375,87 | 232,29 |
| 21. | 1. | 3. | 83,69 | 71,84 | -11,85 |
| 21. | 2. | 3. | 51,15 | 44,00 | -7,15 |
| Mittelwerte | | | 216,60 | 265,71 | 49,11 |

Tab. 29: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 7,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 1. | 1. | 1. | 496,34 | 758,97 | 262,63 |
| 1. | 2. | 1. | 733,88 | 1224,06 | 490,18 |
| 3. | 1. | 1. | 482,37 | 541,46 | 59,09 |
| 3. | 2. | 1. | 393,76 | 497,70 | 103,94 |
| 8. | 1. | 1. | 130,59 | 160,00 | 29,41 |
| 8. | 2. | 1. | 413,99 | 213,33 | -200,65 |
| 15. | 1. | 1. | 1051,21 | 1480,00 | 428,79 |
| 15. | 2. | 1. | 758,05 | 959,26 | 201,21 |
| 22. | 1. | 1. | 185,00 | 157,70 | -27,30 |
| 22. | 2. | 1. | 158,24 | 164,44 | 6,21 |
| 23. | 1. | 1. | 316,58 | 973,68 | 657,11 |
| 23. | 2. | 1. | 206,08 | 595,61 | 389,53 |
| 35. | 1. | 1. | 101,43 | 162,44 | 61,01 |
| 35. | 2. | 1. | 47,19 | 99,72 | 52,53 |
| 42. | 1. | 1. | 118,07 | 122,36 | 4,29 |
| 42. | 2. | 1. | 47,82 | 80,51 | 32,70 |
| 44. | 1. | 1. | 189,05 | 146,67 | 57,62 |
| 44. | 2. | 1. | 198,41 | 314,65 | 116,24 |
| Mittelwerte | | | 334,89 | 486,25 | 151,36 |

Tab. 30: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 7,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 1. | 1. | 2. | 382,94 | 672,73 | 289,79 |
| 1. | 2. | 2. | 721,34 | 612,41 | -108,93 |
| 3. | 1. | 2. | 261,50 | 264,29 | 2,78 |
| 3. | 2. | 2. | 186,50 | 409,36 | 222,86 |
| 8. | 1. | 2. | 81,40 | 76,47 | -4,93 |
| 8. | 2. | 2. | 162,70 | 80,04 | -82,65 |
| 15. | 1. | 2. | 599,59 | 1163,76 | 564,17 |
| 15. | 2. | 2. | 667,80 | 1096,30 | 428,49 |
| 22. | 1. | 2. | 93,97 | 49,75 | -44,22 |
| 22. | 2. | 2. | 65,00 | 58,14 | -6,86 |
| 23. | 1. | 2. | 237,86 | 783,53 | 545,67 |
| 23. | 2. | 2. | 110,75 | 408,76 | 298,01 |
| 35. | 1. | 2. | 87,06 | 11,21 | -75,85 |
| 35. | 2. | 2. | 29,15 | 30,66 | 1,51 |
| 42. | 1. | 2. | 115,11 | 35,30 | -79,81 |
| 42. | 2. | 2. | 29,37 | 33,22 | 3,86 |
| 44. | 1. | 2. | 68,16 | 26,91 | -41,25 |
| 44. | 2. | 2. | 68,48 | 105,92 | 37,44 |
| Mittelwerte | | | 220,48 | 328,82 | 108,34 |

Tab. 31: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **dritten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 7,0** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 1. | 1. | 3. | 311,01 | 526,78 | 215,77 |
| 1. | 2. | 3. | 670,63 | 534,14 | -136,49 |
| 3. | 1. | 3. | 173,83 | 206,35 | 32,52 |
| 3. | 2. | 3. | 137,26 | 280,19 | 142,94 |
| 8. | 1. | 3. | 52,62 | 34,98 | -17,64 |
| 8. | 2. | 3. | 135,67 | 57,29 | -78,38 |
| 15. | 1. | 3. | 538,18 | 1138,46 | 600,28 |
| 15. | 2. | 3. | 589,77 | 1480,00 | 890,23 |
| 22. | 1. | 3. | 74,63 | 34,57 | -40,06 |
| 22. | 2. | 3. | 54,72 | 22,77 | -31,95 |
| 23. | 1. | 3. | 148,88 | 479,63 | 330,75 |
| 23. | 2. | 3. | 106,47 | 201,82 | 95,34 |
| 35. | 1. | 3. | 33,94 | 10,72 | -23,21 |
| 35. | 2. | 3. | 21,88 | 49,68 | 27,80 |
| 42. | 2. | 3. | 23,87 | 22,58 | -1,29 |
| 44. | 1. | 3. | 59,41 | 15,70 | -43,71 |
| 44. | 2. | 3. | 44,79 | 63,79 | 19,00 |
| Mittelwerte | | | 186,91 | 303,50 | 116,58 |

Tab. 32: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Olaflur_{Rind}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 10. | 1. | 1. | 29,60 | 694,32 | 664,72 |
| 10. | 2. | 1. | 19,73 | 420,92 | 401,19 |
| 13. | 1. | 1. | 120,59 | 370,00 | 249,41 |
| 13. | 2. | 1. | 426,90 | 685,19 | 258,29 |
| 20. | 1. | 1. | 123,33 | 807,27 | 683,94 |
| 20. | 2. | 1. | 153,10 | 978,71 | 825,61 |
| 32. | 1. | 1. | 66,07 | 978,71 | 912,64 |
| 32. | 2. | 1. | 14,65 | 691,48 | 676,83 |
| 47. | 1. | 1. | 18,05 | 246,67 | 228,62 |
| 47. | 2. | 1. | 19,73 | 609,41 | 589,68 |
| Mittelwerte | | | 99,18 | 648,27 | 549,09 |

Tab. 33: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Olaflur_{Rind}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 10. | 1. | 2. | 17,41 | 457,46 | 440,04 |
| 10. | 2. | 2. | 16,44 | 359,82 | 343,38 |
| 13. | 1. | 2. | 16,10 | 370,00 | 353,39 |
| 13. | 2. | 2. | 14,51 | 326,10 | 311,59 |
| 20. | 1. | 2. | 110,08 | 776,39 | 666,31 |
| 20. | 2. | 2. | 370,00 | 916,19 | 546,19 |
| 32. | 1. | 2. | 62,57 | 660,00 | 597,43 |
| 32. | 2. | 2. | 151,73 | 478,39 | 326,66 |
| 47. | 1. | 2. | 15,42 | 213,46 | 198,04 |
| 47. | 2. | 2. | 13,83 | 474,93 | 461,10 |
| Mittelwerte | | | 78,81 | 503,27 | 424,46 |

Tab. 33: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **dritten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Olaflur_{Rind}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 10. | 1. | 3. | 16,82 | 397,93 | 381,11 |
| 10. | 2. | 3. | 14,37 | 183,30 | 168,93 |
| 13. | 1. | 3. | 16,44 | 212,88 | 196,44 |
| 13. | 2. | 3. | 13,58 | 213,78 | 200,20 |
| 20. | 2. | 3. | 339,17 | 362,45 | 23,28 |
| 32. | 1. | 3. | 67,89 | 375,21 | 307,32 |
| 32. | 2. | 3. | 155,16 | 415,44 | 260,28 |
| 47. | 1. | 3. | 14,10 | 78,63 | 64,53 |
| 47. | 2. | 3. | 13,58 | 206,76 | 143,18 |
| Mittelwerte | | | 74,36 | 271,82 | 206,52 |

Tab. 34: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF_{KOH}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.2)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 9. | 1. | 1. | 24,19 | 67,66 | 43,47 |
| 9. | 2. | 1. | 18,27 | 45,45 | 27,18 |
| 12. | 1. | 1. | 13,96 | 250,55 | 236,59 |
| 12. | 2. | 1. | 13,83 | 293,82 | 279,99 |
| 35. | 1. | 1. | 11,30 | 82,04 | 70,74 |
| 35. | 2. | 1. | 15,26 | 50,83 | 35,57 |
| 39. | 1. | 1. | 33,35 | 519,69 | 486,34 |
| 39. | 2. | 1. | 12,54 | 419,53 | 406,99 |
| 41. | 1. | 1. | 80,00 | 648,38 | 568,38 |
| 41. | 2. | 1. | 76,24 | 451,91 | 375,67 |
| 45. | 1. | 1. | 14,23 | 373,74 | 359,51 |
| 45. | 2. | 1. | 15,91 | 216,06 | 200,15 |
| 52. | 1. | 1. | 185,00 | 570,28 | 385,28 |
| 52. | 2. | 1. | 244,72 | 757,48 | 512,76 |
| 54. | 1. | 1. | 90,61 | 109,63 | 19,02 |
| 54. | 2. | 1. | 83,25 | 84,73 | 1,48 |
| Mittelwerte | | | 58,29 | 308,86 | 250,58 |

Tab. 35: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von NaF_{KOH} und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.2)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 9. | 1. | 2. | 22,20 | 50,74 | 28,54 |
| 9. | 2. | 2. | 16,63 | 22,30 | 5,67 |
| 12. | 1. | 2. | 13,96 | 78,04 | 64,08 |
| 12. | 2. | 2. | 12,98 | 210,66 | 197,68 |
| 35. | 1. | 2. | 10,96 | 30,52 | 19,56 |
| 35. | 2. | 2. | 9,31 | 14,33 | 5,02 |
| 39. | 1. | 2. | 26,18 | 301,75 | 275,57 |
| 39. | 2. | 2. | 12,54 | 265,50 | 252,96 |
| 41. | 1. | 2. | 50,88 | 447,08 | 396,20 |
| 41. | 2. | 2. | 30,77 | 287,78 | 257,01 |
| 45. | 1. | 2. | 13,21 | 143,03 | 129,82 |
| 45. | 2. | 2. | 15,26 | 119,15 | 103,89 |
| 52. | 1. | 2. | 100,00 | 542,67 | 442,67 |
| 52. | 2. | 2. | 175,75 | 640,00 | 464,43 |
| 54. | 1. | 2. | 43,05 | 75,64 | 32,59 |
| 54. | 2. | 2. | 31,95 | 30,05 | -1,9 |
| Mittelwerte | | | 36,60 | 203,7 | 178,38 |

Tab. 36: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **dritten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von NaF_{KOH} und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.2)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 9. | 1. | 3. | 12,65 | 28,83 | 16,18 |
| 9. | 2. | 3. | 14,23 | 20,51 | 6,28 |
| 12. | 1. | 3. | 13,33 | 85,02 | 71,69 |
| 12. | 2. | 3. | 12,44 | 88,39 | 75,95 |
| 35. | 1. | 3. | 11,56 | 25,33 | 13,77 |
| 35. | 2. | 3. | 12,33 | 14,00 | 1,67 |
| 39. | 1. | 3. | 8,22 | 138,13 | 129,91 |
| 39. | 2. | 3. | 5,77 | 256,61 | 250,89 |
| 41. | 1. | 3. | 31,83 | 316,18 | 284,35 |
| 41. | 2. | 3. | 30,57 | 279,83 | 149,26 |
| 45. | 1. | 3. | 10,35 | 224,74 | 214,39 |
| 45. | 2. | 3. | 14,65 | 69,19 | 54,54 |
| 52. | 1. | 3. | 63,04 | 458,41 | 395,37 |
| 52. | 2. | 3. | 126,50 | 603,50 | 477,00 |
| 54. | 1. | 3. | 30,12 | 64,4 | 34,28 |
| 54. | 2. | 3. | 20,94 | 32,00 | 11,06 |
| Mittelwerte | | | 26,16 | 190,39 | 157,98 |

Tab. 37: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Olaflur_{Rind}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.2)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 1. | 1. | 1. | 40,66 | 257,05 | 216,39 |
| 1. | 2. | 1. | 31,60 | 143,23 | 111,63 |
| 3. | 1. | 1. | 16,82 | 502,91 | 486,09 |
| 3. | 2. | 1. | 15,91 | 204,59 | 188,68 |
| 15. | 1. | 1. | 14,65 | 1383,18 | 1368,53 |
| 15. | 2. | 1. | 13,83 | 795,04 | 781,21 |
| 30. | 1. | 1. | 14,74 | 671,34 | 656,60 |
| 30. | 2. | 1. | 14,37 | 1547,27 | 1532,90 |
| 31. | 1. | 1. | 336,36 | 408,28 | 71,92 |
| 31. | 2. | 1. | 280,69 | 549,03 | 268,34 |
| 36. | 1. | 1. | 10,50 | 733,68 | 723,18 |
| 36. | 2. | 1. | 11,13 | 801,67 | 790,54 |
| 43. | 1. | 1. | 13,70 | 219,80 | 206,10 |
| 43. | 2. | 1. | 49,33 | 327,16 | 277,83 |
| 50. | 1. | 1. | 176,59 | 597,69 | 421,10 |
| 50. | 2. | 1. | 130,79 | 531,28 | 400,49 |
| Mittelwerte | | | 73,23 | 604,58 | 531,35 |

Tab. 38: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Olaflur_{Rind}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.2)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 1. | 1. | 2. | 40,78 | 246,47 | 205,69 |
| 1. | 2. | 2. | 16,09 | 100,31 | 84,22 |
| 3. | 1. | 2. | 16,82 | 255,40 | 238,58 |
| 3. | 2. | 2. | 15,26 | 161,88 | 146,62 |
| 15. | 2. | 2. | 13,83 | 530,57 | 516,74 |
| 30. | 1. | 2. | 13,96 | 597,69 | 583,73 |
| 30. | 2. | 2. | 13,33 | 1365,6 | 1352,27 |
| 31. | 1. | 2. | 309,91 | 531,28 | 221,37 |
| 31. | 2. | 2. | 270,26 | 282,76 | 12,50 |
| 36. | 1. | 2. | 10,35 | 433,79 | 423,44 |
| 36. | 2. | 2. | 11,21 | 337,95 | 326,74 |
| 43. | 1. | 2. | 13,58 | 132,09 | 118,51 |
| 43. | 2. | 2. | 20,59 | 89,45 | 68,86 |
| 50. | 1. | 2. | 91,21 | 221,24 | 130,03 |
| 50. | 2. | 2. | 57,96 | 451,79 | 393,83 |
| Mittelwerte | | | 58,06 | 415,27 | 357,21 |

Tab. 39: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **dritten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Olaflur_{Rind}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.2)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 1. | 1. | 3. | 15,91 | 150,51 | 134,60 |
| 1. | 2. | 3. | 17,01 | 84,57 | 67,56 |
| 3. | 1. | 3. | 16,82 | 255,40 | 238,58 |
| 3. | 2. | 3. | 15,26 | 161,88 | 146,62 |
| 15. | 2. | 3. | 13,83 | 530,57 | 516,74 |
| 30. | 1. | 3. | 13,96 | 597,69 | 583,73 |
| 30. | 2. | 3. | 13,33 | 1365,6 | 1352,27 |
| 31. | 1. | 3. | 309,91 | 531,28 | 221,37 |
| 31. | 2. | 3. | 270,26 | 282,76 | 12,50 |
| 36. | 1. | 3. | 10,35 | 433,79 | 423,44 |
| 36. | 2. | 3. | 11,21 | 337,95 | 326,74 |
| 43. | 1. | 3. | 13,58 | 132,09 | 118,51 |
| 43. | 2. | 3. | 20,59 | 89,45 | 68,86 |
| 50. | 1. | 3. | 91,21 | 221,24 | 130,03 |
| 50. | 2. | 3. | 57,96 | 451,79 | 393,83 |
| Mittelwerte | | | 46,69 | 359,14 | 311,29 |

Tab. 40: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Steraflur_{C18}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 1. | 1. | 1. | 519 | 840 | 321 |
| 1. | 2. | 1. | 421 | 923 | 502 |
| 2. | 1. | 1. | 763 | 1260 | 497 |
| 2. | 2. | 1. | 383 | 1239 | 857 |
| 3. | 1. | 1. | 804 | 1571 | 767 |
| 3. | 2. | 1. | 317 | 1829 | 1512 |
| 4. | 1. | 1. | 809 | 1345 | 536 |
| 4. | 2. | 1. | 367 | 1271 | 904 |
| 4. | 1. | 1. | 258 | 1208 | 950 |
| Mittelwerte | | | 515,67 | 1276,22 | 760,66 |

Tab. 41: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Steraflur_{C18}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 1. | 1. | 2. | 359 | 461 | 102 |
| 1. | 2. | 2. | 265 | 1233 | 969 |
| 2. | 1. | 2. | 484 | 815 | 331 |
| 2. | 2. | 2. | 220 | 1233 | 1003 |
| 3. | 2. | 2. | 271 | 1068 | 797 |
| 3. | 1. | 2. | 143 | 784 | 640 |
| 4. | 2. | 2. | 597 | 637 | 40 |
| 4. | 1. | 2. | 296 | 1528 | 1232 |
| 4. | 2. | 2. | 239 | 1090 | 851 |
| Mittelwerte | | | 319,34 | 983,22 | 662,78 |

Tab. 42: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Cetaflur_{C16}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 5. | 1. | 1. | 907 | 1225 | 318 |
| 5. | 2. | 1. | 990 | 885 | -105 |
| 6. | 1. | 1. | 1061 | 1222 | 161 |
| 6. | 2. | 1. | 1009 | 1394 | 385 |
| 7. | 1. | 1. | 660 | 756 | 97 |
| 7. | 2. | 1. | 429 | 1242 | 813 |
| 8. | 1. | 1. | 795 | 1615 | 819 |
| 32. | 2. | 1. | 891 | 1850 | 959 |
| 32 | 1. | 1. | 954 | 1495 | 540 |
| 27. | 2. | 1. | 483 | 1617 | 1133 |
| 27. | 1. | 1. | 790 | 1607 | 817 |
| 27. | 2. | 1. | 542 | 1414 | 872 |
| Mittelwerte | | | 793,59 | 1346,12 | 552,58 |

Tab. 43: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Cetaflur_{C16}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 5. | 1. | 2. | 402 | 821 | 419 |
| 6. | 2. | 2. | 725 | 1135 | 409 |
| 6. | 1. | 2. | 568 | 664 | 96 |
| 7. | 2. | 2. | 617 | 863 | 247 |
| 7. | 1. | 2. | 391 | 1160 | 769 |
| 8. | 2. | 2. | 976 | 1128 | 152 |
| 8. | 1. | 2. | 747 | 1175 | 428 |
| 32. | 2. | 2. | 569 | 1636 | 1067 |
| 32. | 1. | 2. | 888 | 1201 | 313 |
| 27. | 2. | 2. | 270 | 1164 | 894 |
| 27. | 1. | 2. | 384 | 1110 | 726 |
| 27. | 2. | 2. | 370 | 1148 | 778 |
| Mittelwerte | | | 575,59 | 1100,42 | 524,83 |

Tab. 44: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Myraflur_{C14}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 10. | 1. | 1. | 917 | 1278 | 361 |
| 10. | 2. | 1. | 1071 | 1564 | 493 |
| 11. | 1. | 1. | 1703 | 1243 | 460 |
| 11. | 2. | 1. | 803 | 893 | 90 |
| 12. | 1. | 1. | 875 | 1042 | 167 |
| 12. | 2. | 1. | 663 | 1884 | 1221 |
| 13. | 1. | 1. | 930 | 961 | 31 |
| 13. | 2. | 1. | 768 | 1248 | 480 |
| Mittelwerte | | | 966,25 | 1264,13 | 297,88 |

Tab. 45: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Myraflur_{C14}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 10. | 1. | 2. | 665 | 766 | 101 |
| 10. | 2. | 2. | 875 | 1128 | 252 |
| 11. | 1. | 2. | 987 | 1300 | 313 |
| 11. | 2. | 2. | 515 | 939 | 424 |
| 12. | 1. | 2. | 845 | 493 | -351 |
| 12. | 2. | 2. | 586 | 1480 | 894 |
| 13. | 1. | 2. | 860 | 1097 | 236 |
| 13. | 2. | 2. | 493 | 1166 | 673 |
| Mittelwerte | | | 728,25 | 1046,13 | 317,88 |

Tab. 46: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Xidecaflur_{Sojaöl}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 14. | 1. | 1. | 114 | 269 | 155 |
| 14. | 2. | 1. | 51 | 606 | 555 |
| 14. | 1. | 1. | 64 | 439 | 375 |
| 15. | 2. | 1. | 698 | 1215 | 517 |
| 15. | 1. | 1. | 757 | 1151 | 394 |
| 16. | 2. | 1. | 1184 | 1009 | -175 |
| 16. | 1. | 1. | 548 | 784 | 235 |
| 16. | 2. | 1. | 685 | 1250 | 564 |
| 17. | 1. | 1. | 576 | 906 | 331 |
| 17. | 2. | 1. | 609 | 1057 | 445 |
| Mittelwerte | | | 528,60 | 868,60 | 339,60 |

Tab. 47: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Xidecaflur_{Sojaöl}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 14. | 1. | 2. | 48 | 259 | 212 |
| 14. | 2. | 2. | 27 | 545 | 519 |
| 14. | 1. | 2. | 28 | 701 | 673 |
| 15. | 2. | 2. | 945 | 950 | 05 |
| 15. | 1. | 2. | 725 | 1032 | 306 |
| 16. | 2. | 2. | 945 | 1405 | 460 |
| 16. | 1. | 2. | 295 | 632 | 337 |
| 16. | 2. | 2. | 578 | 755 | 177 |
| 17. | 1. | 2. | 541 | 1207 | 666 |
| 17. | 2. | 2. | 361 | 1216 | 855 |
| Mittelwerte | | | 449,30 | 870,20 | 420,90 |

Tab. 48: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Olaflur_{Rapsöl}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 19. | 1. | 1. | 479 | 666 | 187 |
| 19. | 2. | 1. | 441 | 1045 | 605 |
| 20. | 1. | 1. | 632 | 1110 | 478 |
| 20. | 2. | 1. | 670 | 1006 | 336 |
| 21. | 1. | 1. | 740 | 1438 | 698 |
| 21. | 2. | 1. | 498 | 1110 | 612 |
| 22. | 1. | 1. | 1388 | 1682 | 294 |
| 22. | 2. | 1. | 1114 | 1374 | 260 |
| Mittelwerte | | | 722,67 | 1156,01 | 433,34 |

Tab. 49: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Olaflur_{Rapsöl}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 19. | 1. | 2. | 411 | 579 | 168 |
| 19. | 2. | 2. | 425 | 965 | 541 |
| 20. | 1. | 2. | 592 | 721 | 129 |
| 20. | 2. | 2. | 592 | 1095 | 503 |
| 21. | 1. | 2. | 981 | 1197 | 216 |
| 21. | 2. | 2. | 579 | 1075 | 496 |
| 22. | 1. | 2. | 869 | 1353 | 484 |
| 22. | 2. | 2. | 740 | 1252 | 512 |
| Mittelwerte | | | 648,25 | 1029,25 | 381,13 |

Tab. 50: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Olaflur_{Rind}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 23. | 1. | 1. | 746 | 1071 | 325 |
| 23. | 2. | 1. | 1142 | 1260 | 117 |
| 24. | 1. | 1. | 1159 | 1347 | 188 |
| 24. | 2. | 1. | 872 | 1932 | 1060 |
| 25. | 1. | 1. | 1075 | 1188 | 113 |
| 25. | 2. | 1. | 740 | 1201 | 461 |
| 25. | 3. | 1. | 541 | 1144 | 603 |
| 26. | 1. | 1. | 1236 | 1319 | 83 |
| 26. | 2. | 1. | 992 | 1451 | 459 |
| Mittelwerte | | | 944,78 | 1323,67 | 378,89 |

Tab. 51: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Olaflur_{Rind}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 23. | 1. | 2. | 410 | 661 | 251 |
| 23. | 2. | 2. | 598 | 925 | 327 |
| 24. | 1. | 2. | 1060 | 797 | -263 |
| 24. | 2. | 2. | 634 | 1184 | 550 |
| 25. | 1. | 2. | 458 | 1138 | 681 |
| 25. | 2. | 2. | 830 | 1319 | 489 |
| 25. | 3. | 2. | 148 | 895 | 747 |
| 26. | 1. | 2. | 1059 | 1121 | 62 |
| 26. | 2. | 2. | 724 | 935 | 210 |
| Mittelwerte | | | 657,89 | 997,23 | 339,34 |

Tab. 52: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 4,3** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 28. | 1. | 1. | 137 | 258 | 121 |
| 28. | 2. | 1. | 246 | 402 | 156 |
| 29. | 1. | 1. | 753 | 546 | -207 |
| 29. | 2. | 1. | 365 | 416 | 51 |
| 30. | 1. | 1. | 875 | 777 | -98 |
| 30. | 2. | 1. | 678 | 987 | 309 |
| 30. | 3. | 1. | 841 | 1730 | 889 |
| 31. | 1. | 1. | 63 | 664 | 601 |
| Mittelwerte | | | 474,18 | 722,50 | 248,32 |

Tab. 53: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **NaF pH 4,3** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 28. | 1. | 2. | 93 | 191 | 97 |
| 28. | 2. | 2. | 132 | 160 | 28 |
| 29. | 1. | 2. | 612 | 265 | -347 |
| 29. | 2. | 2. | 163 | 169 | 06 |
| 30. | 1. | 2. | 678 | 987 | 309 |
| 30. | 2. | 2. | 681 | 1400 | 718 |
| 31. | 1. | 2. | 72 | 674 | 601 |
| 31. | 2. | 2. | 56 | 290 | 234 |
| Mittelwerte | | | 310,88 | 517,00 | 206,12 |

Tab. 54: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Wasser** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 34. | 1. | 1. | 240 | 99 | -141 |
| 34. | 2. | 1. | 140 | 374 | 234 |
| 36. | 1. | 1. | 390 | 190 | -199 |
| 36. | 2. | 1. | 296 | 380 | 84 |
| 9. | 1. | 1. | 750 | 864 | 114 |
| 9. | 2. | 1. | 457 | 480 | 23 |
| 9. | 3. | 1. | 605 | 415 | -191 |
| 18. | 1. | 1. | 206 | 209 | 04 |
| 18. | 2. | 1. | 79 | 94 | 15 |
| Mittelwerte | | | 351,45 | 345,00 | -6,45 |

Tab. 55: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Applikation von **Wasser** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 34. | 1. | 2. | 226 | 62 | -164 |
| 34. | 2. | 2. | 117 | 180 | 63 |
| 36. | 1. | 2. | 382 | 308 | -74 |
| 36. | 2. | 2. | 285 | 343 | 58 |
| 9. | 1. | 2. | 524 | 598 | 74 |
| 9. | 2. | 2. | 316 | 289 | -28 |
| 9. | 3. | 2. | 373 | 338 | -36 |
| 18. | 1. | 2. | 105 | 129 | 24 |
| 18. | 2. | 2. | 20 | 59 | 39 |
| Mittelwerte | | | 260,89 | 256,23 | -4,67 |

Tab. 56: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Steraflur_{C18}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 27. | 1. | 1. | 21,26 | 493,33 | 472,07 |
| 39. | 1. | 1. | 246,67 | 923,30 | 676,63 |
| 39. | 2. | 1. | 259,85 | 835,93 | 576,08 |
| 29. | 1. | 1. | 120,85 | 725,49 | 604,57 |
| 29. | 2. | 1. | 117,09 | 1230,56 | 1113,47 |
| 14. | 1. | 1. | 107,64 | 409,24 | 301,60 |
| 14. | 2. | 1. | 185,00 | 720,35 | 535,35 |
| 30. | 1. | 1. | 181,42 | 1415,65 | 1234,23 |
| 30. | 2. | 1. | 242,99 | 1408,67 | 1165,68 |
| 22. | 1. | 1. | 383,70 | 853,85 | 470,15 |
| 22. | 2. | 1. | 119,47 | 1113,39 | 993,92 |
| 12. | 1. | 1. | 321,24 | 1956,32 | 1635,08 |
| 12. | 2. | 1. | 269,83 | 1514,96 | 1245,13 |
| 36. | 1. | 1. | 193,46 | 1193,06 | 999,60 |
| 36. | 2. | 1. | 155,79 | 855,90 | 700,11 |
| 21. | 1. | 1. | 288,14 | 1443,90 | 1155,76 |
| 21. | 2. | 1. | 675,44 | 1784,10 | 1108,66 |
| 35. | 1. | 1. | 42,13 | 648,54 | 606,41 |
| 35. | 2. | 1. | 18,15 | 760,75 | 742,60 |
| Mittelwerte | | | 207,90 | 1067,75 | 859,85 |

Tab. 57: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Steraflur_{C18}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 27. | 1. | 2. | 11,38 | 474,17 | 462,79 |
| 39. | 1. | 2. | 83,55 | 580,93 | 497,38 |
| 39. | 2. | 2. | 128,70 | 370,00 | 241,30 |
| 29. | 1. | 2. | 51,11 | 666,00 | 614,89 |
| 29. | 2. | 2. | 69,375 | 678,33 | 608,955 |
| 14. | 1. | 2. | 30,31 | 399,21 | 368,90 |
| 14. | 2. | 2. | 73,34 | 690,67 | 617,33 |
| 30. | 1. | 2. | 78,31 | 886,53 | 808,22 |
| 30. | 2. | 2. | 117,83 | 1261,89 | 1144,06 |
| 22. | 1. | 2. | 168,98 | 670,19 | 501,21 |
| 22. | 2. | 2. | 27,11 | 716,13 | 689,02 |
| 12. | 1. | 2. | 94,65 | 1429,55 | 1334,90 |
| 12. | 2. | 2. | 268,30 | 1370,37 | 1102,07 |
| 36. | 1. | 2. | 101,75 | 497,94 | 396,19 |
| 36. | 2. | 2. | 58,29 | 466,67 | 408,38 |
| 21. | 1. | 2. | 163,82 | 1451,26 | 1287,44 |
| 21. | 2. | 2. | 593,13 | 1632,83 | 1039,70 |
| 35. | 1. | 2. | 19,05 | 404,33 | 385,28 |
| 35. | 2. | 2. | 11,01 | 622,27 | 611,26 |
| Mittelwerte | | | 113,16 | 803,65 | 690,49 |

Tab. 58: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **dritten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Steraflur_{C18}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 27. | 1. | 3. | 12,74 | 459,70 | 446,96 |
| 39. | 1. | 3. | 61,31 | 317,93 | 256,62 |
| 39. | 2. | 3. | 63,28 | 317,14 | 253,86 |
| 29. | 1. | 3. | 46,43 | 445,31 | 398,88 |
| 29. | 2. | 3. | 67,27 | 441,15 | 373,88 |
| 14. | 2. | 3. | 41,05 | 444,00 | 402,95 |
| 30. | 1. | 3. | 26,27 | 1062,91 | 1036,64 |
| 30. | 2. | 3. | 52,51 | 1212,07 | 1159,56 |
| 22. | 1. | 3. | 114,26 | 587,65 | 473,39 |
| 22. | 2. | 3. | 14,25 | 485,97 | 471,72 |
| 12. | 1. | 3. | 118,93 | 982,30 | 863,37 |
| 12. | 2. | 3. | 110,52 | 987,305 | 867,785 |
| 36. | 1. | 3. | 49,33 | 356,79 | 307,46 |
| 36. | 2. | 3. | 44,4 | 400,83 | 356,43 |
| 21. | 1. | 3. | 127,01 | 1324,21 | 1197,20 |
| 21. | 2. | 3. | 410,51 | 1541,67 | 1131,16 |
| 35. | 1. | 3. | 13,65 | 324,69 | 311,04 |
| 35. | 2. | 3. | 12,33 | 323,36 | 311,03 |
| Mittelwerte | | | 77,0 | 667,00 | 590,00 |

Tab. 59: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Xidecaflur_{Sojaöl}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 6. | 1. | 1. | 69,375 | 342,31 | 272,935 |
| 6. | 2. | 1. | 8,58 | 351,37 | 341,79 |
| 18. | 1. | 1. | 102,46 | 482,61 | 380,15 |
| 18. | 2. | 1. | 102,39 | 347,48 | 245,09 |
| 10. | 1. | 1. | 192,06 | 640,82 | 448,76 |
| 10. | 2. | 1. | 69,84 | 512,31 | 442,47 |
| 33. | 1. | 1. | 217,65 | 284,107 | 66,457 |
| 33. | 2. | 1. | 79,29 | 290,08 | 210,79 |
| 11. | 1. | 1. | 302,43 | 678,33 | 375,90 |
| 11. | 2. | 1. | 215,53 | 366,34 | 150,81 |
| 28. | 1. | 1. | 190,97 | 481,59 | 290,62 |
| 28. | 2. | 1. | 384,05 | 1002,08 | 618,03 |
| 31. | 1. | 1. | 395,42 | 819,03 | 423,61 |
| 31. | 2. | 1. | 379,49 | 646,03 | 266,54 |
| 20. | 1. | 1. | 529,34 | 699,64 | 170,30 |
| 20. | 2. | 1. | 557,23 | 982,30 | 425,07 |
| 4. | 1. | 1. | 1088,24 | 1107,09 | 18,85 |
| 4. | 2. | 1. | 606,10 | 778,37 | 172,27 |
| Mittelwerte | | | 305,02 | 600,66 | 295,64 |

Tab. 60: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Xidecaflur_{Sojaöl}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 6. | 1. | 2. | 25,03 | 286,13 | 261,10 |
| 6. | 2. | 2. | 2,01 | 203,36 | 201,35 |
| 18. | 1. | 2. | 25,52 | 228,17 | 202,65 |
| 18. | 2. | 2. | 37,00 | 217,65 | 180,65 |
| 10. | 1. | 2. | 94,18 | 297,61 | 203,43 |
| 10. | 2. | 2. | 16,31 | 480,00 | 463,69 |
| 33. | 1. | 2. | 61,20 | 275,53 | 214,33 |
| 33. | 2. | 2. | 14,65 | 133,97 | 119,32 |
| 11. | 1. | 2. | 186,80 | 408,54 | 221,74 |
| 11. | 2. | 2. | 102,07 | 151,79 | 49,72 |
| 28. | 1. | 2. | 160,62 | 250,85 | 90,23 |
| 28. | 2. | 2. | 179,71 | 767,92 | 588,21 |
| 31. | 1. | 2. | 242,63 | 761,55 | 518,92 |
| 31. | 2. | 2. | 127,01 | 451,40 | 324,39 |
| 20. | 1. | 2. | 497,48 | 692,09 | 194,61 |
| 20. | 2. | 2. | 522,35 | 812,04 | 289,69 |
| 4. | 1. | 2. | 577,56 | 640,28 | 62,72 |
| 4. | 2. | 2. | 217,17 | 340,12 | 122,95 |
| Mittelwerte | | | 171,63 | 411,06 | 239,43 |

Tab. 61: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **dritten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Xidecaflur^{Sojaöl}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 6. | 1. | 3. | 19,75 | 137,43 | 117,86 |
| 6. | 2. | 3. | 1,63 | 173,06 | 171,43 |
| 18. | 1. | 3. | 16,55 | 315,41 | 298,86 |
| 18. | 2. | 3. | 16,65 | 201,17 | 184,52 |
| 10. | 1. | 3. | 54,53 | 152,89 | 98,36 |
| 10. | 2. | 3. | 19,51 | 136,03 | 216,52 |
| 33. | 1. | 3. | 30,83 | 146,72 | 115,89 |
| 33. | 2. | 3. | 14,37 | 94,27 | 79,9 |
| 11. | 1. | 3. | 126,76 | 329,64 | 202,88 |
| 11. | 2. | 3. | 84,39 | 134,55 | 50,16 |
| 28. | 1. | 3. | 132,54 | 188,25 | 55,71 |
| 28. | 2. | 3. | 103,04 | 339,17 | 236,13 |
| 31. | 1. | 3. | 188,14 | 622,43 | 434,29 |
| 31. | 2. | 3. | 117,57 | 267,07 | 149,50 |
| 20. | 1. | 3. | 464,79 | 469,46 | 4,67 |
| 20. | 2. | 3. | 385,55 | 801,20 | 415,65 |
| 4. | 1. | 3. | 353,91 | 302,73 | -51,18 |
| 4. | 2. | 3. | 259,65 | 223,01 | -36,64 |
| Mittelwerte | | | 132,78 | 285,25 | 152,47 |

Tab. 62: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Olaflur_{Rind}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 9. | 1. | 1. | 6,83 | 773,86 | 767,03 |
| 9. | 2. | 1. | 20,14 | 584,21 | 564,07 |
| 1. | 1. | 1. | 155,05 | 488,68 | 333,63 |
| 1. | 2. | 1. | 7,08 | 317,14 | 310,06 |
| 32. | 1. | 1. | 127,97 | 689,44 | 561,47 |
| 32. | 2. | 1. | 143,41 | 775,92 | 632,51 |
| 40. | 1. | 1. | 614,58 | 1205,93 | 591,35 |
| 40. | 2. | 1. | 580,16 | 975,19 | 395,03 |
| 37. | 1. | 1. | 920,89 | 1037,38 | 116,49 |
| 37. | 2. | 1. | 724,58 | 790,29 | 65,71 |
| 24. | 1. | 1. | 211,43 | 963,87 | 752,44 |
| 24. | 2. | 1. | 335,31 | 1424,67 | 1089,36 |
| 26. | 1. | 1. | 463,88 | 885,92 | 422,04 |
| 26. | 2. | 1. | 342,39 | 724,48 | 382,09 |
| 16. | 1. | 1. | 528,57 | 1076,36 | 547,79 |
| 16. | 2. | 1. | 470,91 | 1075,21 | 604,30 |
| 38. | 1. | 1. | 361,12 | 689,83 | 328,71 |
| 38. | 2. | 1. | 306,21 | 563,81 | 257,60 |
| Mittelwerte | | | 351,14 | 835,68 | 484,54 |

Tab. 63: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Olaflur_{Rind}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 9. | 1. | 2. | 2,98 | 328,89 | 325,91 |
| 9. | 2. | 2. | 10,34 | 556,21 | 545,87 |
| 1. | 1. | 2. | 31,60 | 179,40 | 147,80 |
| 1. | 2. | 2. | 3,96 | 299,52 | 295,56 |
| 32. | 1. | 2. | 108,03 | 396,70 | 288,67 |
| 32. | 2. | 2. | 55,75 | 360,98 | 305,23 |
| 40. | 1. | 2. | 565,39 | 1143,09 | 577,70 |
| 40. | 2. | 2. | 574,06 | 906,12 | 332,06 |
| 37. | 1. | 2. | 773,33 | 962 | 188,67 |
| 37. | 2. | 2. | 324,13 | 748,31 | 424,18 |
| 24. | 1. | 2. | 84,43 | 984,89 | 900,46 |
| 24. | 2. | 2. | 157,79 | 703,61 | 1089,36 |
| 26. | 1. | 2. | 325,39 | 872,14 | 546,75 |
| 26. | 2. | 2. | 217,34 | 709,80 | 492,46 |
| 16. | 1. | 2. | 304,97 | 880,95 | 575,98 |
| 16. | 2. | 2. | 354,71 | 745,32 | 390,61 |
| 38. | 1. | 2. | 348,24 | 663,59 | 315,35 |
| 38. | 2. | 2. | 255,89 | 555,00 | 299,11 |
| Mittelwerte | | | 249,91 | 666,47 | 416,57 |

Tab. 64: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **dritten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Olaflur_{Rind}** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 9. | 1. | 3. | 3,96 | 275,47 | 271,51 |
| 9. | 2. | 3. | 5,55 | 375,52 | 369,97 |
| 1. | 1. | 3. | 51,80 | 148,00 | 96,20 |
| 1. | 2. | 3. | 2,79 | 290,00 | 287,21 |
| 32. | 1. | 3. | 69,21 | 246,67 | 177,46 |
| 32. | 2. | 3. | 62,47 | 303,05 | 240,58 |
| 40. | 1. | 3. | 428,22 | 1037,38 | 609,16 |
| 40. | 2. | 3. | 546,59 | 847,80 | 301,21 |
| 37. | 1. | 3. | 625,57 | 910,32 | 284,75 |
| 37. | 2. | 3. | 234,92 | 629,79 | 394,87 |
| 24. | 1. | 3. | 58,29 | 944,68 | 886,39 |
| 24. | 2. | 3. | 118,63 | 497,38 | 378,75 |
| 26. | 1. | 3. | 293,45 | 574,96 | 281,51 |
| 26. | 2. | 3. | 189,17 | 575,56 | 386,39 |
| 16. | 1. | 3. | 296,00 | 740,00 | 444,00 |
| 16. | 2. | 3. | 310,00 | 612,41 | 302,41 |
| 38. | 1. | 3. | 331,52 | 608,22 | 276,70 |
| 38. | 2. | 3. | 304,71 | 550,60 | 245,89 |
| Mittelwerte | | | 218,49 | 564,88 | 346,39 |

Tab. 65: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **ersten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Wasser** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 3. | 1. | 1. | 17,73 | 134,55 | 116,82 |
| 3. | 2. | 1. | 15,91 | 188,36 | 172,45 |
| 34. | 1. | 1. | 38,23 | 246,67 | 208,44 |
| 34. | 2. | 1. | 71,45 | 167,097 | 95,65 |
| 2. | 1. | 1. | 118,40 | 58,58 | -59,82 |
| 2. | 2. | 1. | 48,29 | 78,93 | 30,64 |
| 8. | 1. | 1. | 84,00 | 169,48 | 85,48 |
| 8. | 2. | 1. | 183,47 | 238,15 | 54,68 |
| 15. | 1. | 1. | 121,98 | 323,16 | 201,18 |
| 15. | 2. | 1. | 235,94 | 409,11 | 173,17 |
| 23. | 1. | 1. | 238,04 | 281,32 | 43,28 |
| 23. | 2. | 1. | 209,34 | 298,71 | 89,37 |
| 19. | 1. | 1. | 354,37 | 354,11 | -0,26 |
| 19. | 2. | 1. | 290,38 | 81,45 | -208,93 |
| 25. | 1. | 1. | 350,23 | 414,40 | 64,17 |
| 25. | 2. | 1. | 486,13 | 546,50 | 60,37 |
| 13. | 1. | 1. | 592,00 | 777,00 | 185,00 |
| 13. | 2. | 1. | 453,87 | 604,87 | 151,00 |
| 5. | 1. | 1. | 873,61 | 932,28 | 58,67 |
| 5. | 2. | 1. | 869,02 | 959,26 | 63,24 |
| Mittelwerte | | | 283,97 | 363,20 | 79,23 |

Tab. 66: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **zweiten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Wasser** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 3. | 1. | 2. | 2,18 | 155,18 | 153,00 |
| 3. | 2. | 2. | 2,18 | 114,73 | ^112,55 |
| 34. | 1. | 2. | 6,38 | 93,80 | 87,42 |
| 34. | 2. | 2. | 12,58 | 70,54 | 57,96 |
| 2. | 1. | 2. | 34,15 | 41,85 | 7,7 |
| 2. | 2. | 2. | 9,25 | 52,78 | 43,53 |
| 8. | 1. | 2. | 27,30 | 60,09 | 32,79 |
| 8. | 2. | 2. | 65,49 | 129,82 | 64,33 |
| 15. | 1. | 2. | 102,78 | 180,17 | 77,39 |
| 15. | 2. | 2. | 170,39 | 225,43 | 55,04 |
| 23. | 1. | 2. | 113,85 | 139,51 | 25,66 |
| 23. | 2. | 2. | 92,50 | 148,00 | 55,50 |
| 19. | 1. | 2. | 308,33 | 260,48 | -47,85 |
| 19. | 2. | 2. | 98,98 | 49,33 | -49,65 |
| 25. | 1. | 2. | 283,67 | 374,46 | 90,79 |
| 25. | 2. | 2. | 480,00 | 498,88 | 18,88 |
| 13. | 1. | 2. | 396,06 | 396,43 | 0,37 |
| 13. | 2. | 2. | 447,44 | 458,10 | 10,66 |
| 5. | 1. | 2. | 658,28 | 841,26 | 182,98 |
| 5. | 2. | 2. | 642,15 | 472,60 | -169,55 |
| Mittelwerte | | | 197,70 | 238,17 | 40,48 |

Tab. 67: Doppelbestimmung der Fluoridgehalte pro Zahn der **dritten Biopsieschicht** vor und nach Wiederholung der Applikation von **Wasser** und Fluoridanreicherung (zu Kap. 5.2.3.1)

| Zahn | | | vor Applikation | nach Applikation | F-Anreicherung |
|--------------------|--------|---------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Nr. | Ätzung | Schicht | | | |
| 3. | 1. | 3. | 1,42 | 132,14 | 130,72 |
| 3. | 2. | 3. | 2,22 | 99,53 | 97,31 |
| 34. | 2. | 3. | 10,66 | 67,69 | 57,04 |
| 2. | 1. | 3. | 15,80 | 37,00 | 21,20 |
| 2. | 2. | 3. | 6,91 | 46,32 | 39,41 |
| 8. | 1. | 3. | 23,43 | 65,88 | 42,45 |
| 8. | 2. | 3. | 22,77 | 120,59 | 97,82 |
| 15. | 1. | 3. | 55,64 | 67,49 | 11,85 |
| 15. | 2. | 3. | 60,33 | 220,04 | 159,71 |
| 23. | 1. | 3. | 102,46 | 114,80 | 12,34 |
| 23. | 2. | 3. | 71,94 | 87,45 | 15,51 |
| 19. | 1. | 3. | 174,80 | 203,50 | 28,70 |
| 19. | 2. | 3. | 74,47 | 34,69 | -39,78 |
| 25. | 1. | 3. | 240,93 | 365,13 | 124,20 |
| 25. | 2. | 3. | 618,23 | 475,45 | -142,78 |
| 13. | 1. | 3. | 395,34 | 298,49 | -96,85 |
| 13. | 2. | 3. | 328,89 | 462,50 | 133,61 |
| 5. | 1. | 3. | 470,34 | 493,33 | 22,99 |
| 5. | 2. | 3. | 337,95 | 330,36 | -7,59 |
| Mittelwerte | | | 158,66 | 195,91 | 37,26 |

10 Anlagen

Danksagung

Ehrenwörtliche Erklärung

Lebenslauf

Danksagung

Mein besonderer und herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. Lutz Stößer (Direktor der Poliklinik für Präventive Zahnheilkunde des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Friedrich-Schiller-Universität Jena) für die Überlassung des interessanten Themas sowie für die großzügige fachliche Betreuung meiner Arbeit.

Bei Frau Ulrike Eichstädt (Poliklinik für Präventive Zahnheilkunde der Friedrich-Schiller-Universität Jena) bedanke ich mich vielmals für die Einarbeitung in die F-Analytik dieser Untersuchungen und die stets konstruktive Zusammenarbeit.

Für die freundliche Mithilfe bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse bedanke ich mich bei Herrn Dr. Thomas Buhl (Wissenschaftliche Dienstleistungen, Jena).

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönliche Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes unterstützt haben: Prof. Dr. Dr. Lutz Stößer, Dr. Thomas Buhl,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die in Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Erfurt, den 19.09.2005

Nadin Kiel

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Kiel
Vorname: Nadin
Geburtstag / -ort: 05.02.1975 in Erfurt

Schulbildung:

09/81 - 08/90 Besuch der Polytechnischen Oberschule in Erfurt
09/90 - 08/91 Besuch der Erweiterten Oberschule in Erfurt
09/91 - 08/93 Besuch des staatlichen Gymnasiums in Erfurt
Abschluss: Abitur
09/93 - 08/94 Freiwilliges soziales Jahr in einer Kindertagesstätte der
Trägerschaft Arbeiterwohlfahrt in Erfurt

Studium:

10/94 - 01/00 Studium der Zahnmedizin an der Friedrich-Schiller-Universität
Jena
Abschluss: Staatsexamen
02/2000 Approbation als Zahnärztin

Berufliche Tätigkeit:

04/00 - 03/01 Beginn der Fachzahnarztausbildung Kieferorthopädie
Weiterbildungsassistentin am Klinikum der FSU-Jena, Poliklinik
für Kieferorthopädie
04/01 - 07/01 Vorbereitungsassistentin in der allgemein Zahnärztlichen Praxis
Dr. Al-Burghol (Marlishausen)
08/01 - 03/02 Vorbereitungsassistentin in der allgemein Zahnärztlichen Praxis
Dr. Klagge (Erfurt)
04/02 - 09/02 Fortsetzung der Fachzahnarztausbildung Kieferorthopädie
Weiterbildungsassistentin am Klinikum der FSU-Jena, Poliklinik
für Kieferorthopädie
10/02 - 04/03 Mutterschutz und Elternzeit
05/03 - 10/04 Fortsetzung der Fachzahnarztausbildung Kieferorthopädie
Weiterbildungsassistentin am Klinikum der FSU-Jena, Poliklinik
für Kieferorthopädie
15.09.2004 Prüfung zur Fach Zahnärztin für Kieferorthopädie
10/04 - 09/05 Fertigstellung der Promotion
seit 09/05 Mutterschutz und Elternzeit

Erfurt, den 19.09.2005

Nadin Kiel